АСТРОНОМИЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ

ПОСТОЯННАЯ ЧАСТЬ

ВСЕСОЮЗНОЕ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ

ПОСТОЯННАЯ ЧАСТЬ

ИЗДАНИЕ ШЕСТОЕ

Ответственный редактор
П. И. БАКУЛИН



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1973

52
А 91
УДК 520

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ
Постоянная часть

М., 1973 г., 728 стр. с илл.

Редактор *Г. С. Куликов*
Технический редактор *В. Н. Кондакова*
Корректоры *Е. А. Белицкая, Н. Б. Румянцева*

Сдано в набор 24/XI 1972 г. Подписано к печати 20/IV 1973 г. Бумага 60×90$^1/_{16}$, тип. № 2. Физ. печ. л. 45,5+3 вкл. Условн. печ. л. 47. Уч.-изд. л. 57,5. Тираж 10 000 экз. Т-05740.
Цена книги 3 р. 14 к. Заказ № 408.

Издательство «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы 117071,
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 2
имени Евгении Соколовой «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29

А $\frac{0261-1754}{042(02)-73}$ 189-73

СОДЕРЖАНИЕ

ТАБЛИЦЫ

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРЕДИСЛОВИЕ К ШЕСТОМУ ИЗДАНИЮ

Постоянная часть Астрономического Календаря ВАГО является справочником и руководством для любителей астрономии при пользовании таблицами Переменной части Календаря, а также при обработке астрономических наблюдений, которые могут быть выполнены самими любителями.

В шестом издании Постоянной части сохранена структура книги пятого издания. Содержание отдельных глав и параграфов в основном также осталось прежним. Сделаны лишь необходимые исправления ошибок и неточностей пятого издания, обновлено изложение некоторых вопросов на основе данных современной науки, и только следующие параграфы написаны заново: гл. I, §§ 18 и 23, гл. II, § 1, гл. III, § 10, гл. IV, § 19, гл. V, §§ 1, 5, 9, 11 и 13. В отделе «Таблицы» вновь составлены таблицы 4, 28а, 28б и 36. Из «Приложений» исключено приложение III пятого издания.

Авторами шестого издания Постоянной части являются 27 человек: И. С. Астапович, П. И. Бакулин, А. М. Бахарев, В. А. Бронштэн, О. Б. Васильев, С. К. Всехсвятский, Н. И. Гришин, М. М. Дагаев, И. Т. Зоткин, Э. В. Кононович, Е. Н. Крамер, Е. Л. Кринов, П. Г. Куликовский, Р. В. Куницкий, Н. Е. Курочкин, В. И. Курышев, Ю. А. Медведев, А. А. Нефедьев, С. Б. Новиков, А. И. Рыбаков, Ю. А. Рябов, Н. Н. Сытинская, Я. И. Фельдштейн, В. П. Цесевич, В. Ф. Чистяков, М. И. Шпекин, Б. М. Щиголев.

В содержании после названия каждого параграфа или названия главы (если она написана одним лицом) указана фамилия автора. В составлении отдела «Таблицы» принимали участие И. С. Астапович (таблица 8), А. М. Бахарев (таблица 10), Е. Н. Крамер (таблица 9), А. И. Рыбаков (таблицы 28а). Остальные таблицы и отдел «Приложения» подготовлены П. Г. Куликовским.

Кураторами и редакторами отдельных глав, или параграфов, являются: П. И. Бакулин (главы I, II и Добавление к гл. I и II), В. А. Бронштэн (гл. V, §§ 1, 2, 3, 6, 7, 10, 12), М. М. Дагаев (гл. V, §§ 3, 4, 8, 9, 11, 13), Э. В. Кононович (главы III и IV); П. Г. Куликовский («Таблицы» и «Приложения»), Р. В. Куницкий (глава VI).

Списки литературы, которыми обычно заканчивались инструкции для наблюдений в пятом издании, в настоящем издании значительно сокращены. Рекомендуемая литература по общим или фундаментальным вопросам астрономии приведена в следующем списке:

1. *П. И. Бакулин, Э. В. Кононович, В. И. Мороз.* Курс общей астрономии, изд. 2-е, «Наука», 1970.
2. *Д. Я. Мартынов.* Курс общей астрофизики, изд. 2-е, «Наука», 1971.
3. *Д. Я. Мартынов.* Курс практической астрофизики, изд. 2-е, «Наука», 1967.
4. *А. А. Михайлов.* Теория затмений, изд. 2-е, Гостехиздат, 1954.
5. *Б. М. Щиголев.* Математическая обработка наблюдений, изд. 3-е, Физматгиз, 1969.
6. *Н. И. Идельсон.* Способ наименьших квадратов, 1932.
7. *Н. П. Барабашов.* Природа небесных тел и их наблюдение. Изд. ХГУ, 1969.
8. *Н. Н. Сытинская.* Абсолютная фотометрия протяженных небесных объектов. Изд. ЛГУ, 1948.
9. *В. П. Цесевич.* Что и как наблюдать на небе, изд. 3-е, Физматгиз, 1963.
10. *П. Г. Куликовский.* Справочник любителя астрономии, изд. 4-е, «Наука», 1971.
11. *М. М. Дагаев.* Лабораторный практикум по курсу общей астрономии, изд. 2-е, «Высшая школа», 1972.
12. Практические работы по звездной астрономии, под редакцией П. Г. Куликовского, «Наука», 1971.
13. *А. А. Михайлов.* Звездный атлас (до 5,5 звездной величины), изд. 4-е, «Наука», 1965.
14. *А. А. Михайлов.* Звездный атлас (до 8,5 звездной величины), изд. 3-е, «Наука», 1969.
15. *А. Бечварж.* Атлас неба 1950,0. Прага, 1957.

Кроме того, в Переменной части Астрономического Календаря ежегодно публикуется достаточно обширная библиография астрономической литературы специально для любителей астрономии.

Глава I

ЭЛЕМЕНТЫ СФЕРИЧЕСКОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ

§ 1. Географические координаты

Тот диаметр Земли, вокруг которого она вращается, называется *осью вращения* Земли.

Ось вращения пересекает поверхность Земли в двух точках: в *северном полюсе* N и *южном полюсе* S (рис. 1). Северный полюс тот, со стороны которого вращение Земли происходит против часовой стрелки.

Большой круг на поверхности Земли ($QG'M'Q$), плоскость которого перпендикулярна к оси вращения, называется *земным экватором*. Земной экватор делит поверхность Земли на два полушария: северное (с северным полюсом N) и южное (с южным полюсом S).

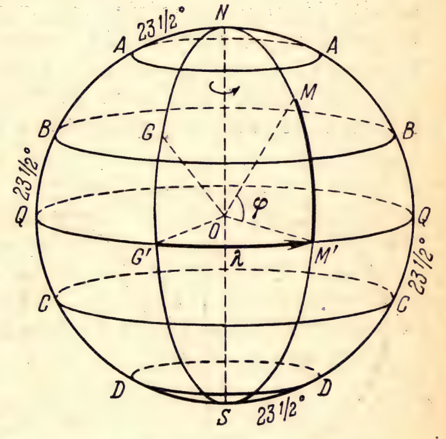


Рис. 1. Географические координаты.

Малые круги, параллельные земному экватору, называются *географическими параллелями*. Географическая параллель (BB), отстоящая на $23^1/_2°$ к северу от экватора, называется *северным тропиком*, параллель (CC), отстоящая на $23^1/_2°$ к югу от экватора, — *южным тропиком*. Географические параллели, отстоящие на $23^1/_2°$ от полюсов, называются *полярными кругами* — *северным* (AA) и *южным* (DD).

Большой полукруг ($NMM'S$), проходящий через полюсы Земли и через точку M на ее поверхности, называется *меридианом* точки M.

Меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию, главную обсерваторию Англии, считается *нулевым* или *начальным меридианом*.

Нулевой меридиан и меридиан, отстоящий от нулевого на 180°, делят поверхность Земли на два полушария: *восточное* и *западное*.

Прямая линия OM, совпадающая с направлением нити отвеса в данной точке Земли, называется *отвесной линией.*

Положение точки на земной поверхности определяется двумя географическими координатами: *широтой* φ и *долготой* λ (или l).

Географической широтой точки M называется угол ($M'OM$) между плоскостью земного экватора и отвесной линией, проходящей через точку M. Географические широты отсчитываются от экватора от 0 до $+90°$ (северная широта), если точки лежат в северном полушарии, и от 0 до $-90°$ (южная широта), если точки лежат в южном полушарии Земли. Географической долготой точки M называется двугранный угол (GNM) между плоскостями начального меридиана и меридиана, проходящего через точку M.

Географические долготы отсчитываются к востоку от начального меридиана, т. е. в сторону вращения Земли, в пределах от 0 до 360° (в градусной мере), или от 0 до 24 часов (в часовой мере). Иногда долготы отсчитываются от 0 до $+180°$ (от 0 до $+12$ часов) к востоку (восточная долгота) и от 0 до $-180°$ (от 0 до -12 часов) к западу (западная долгота) от Гринвича.

При решении многих задач можно считать, что Земля представляет собой однородный шар. В этом случае направление отвесной линии в любой точке земной поверхности пройдет через центр Земли и совпадет с ее радиусом. Тогда географическая широта точки M может быть измерена дугой меридиана (MM'), а географическая долгота—дугой экватора ($G'M$).

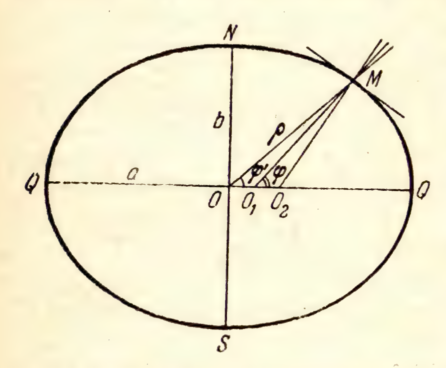


Рис. 2. Различные виды географической широты (для наглядности сжатие преувеличено).

Вследствие вращения вокруг оси Земля в действительности несколько сплюснута у полюсов и имеет форму *эллипсоида вращения*, малая ось которого совпадает с осью вращения. В этом случае направление отвесной линии не для всех точек земной поверхности будет проходить через центр Земли O (рис. 2), а будет пересекать плоскость земного экватора в некоторой другой точке O_1, не совпадая с радиусом-вектором ρ, т. е. с прямой OM, соединяющей центр эллипсоида и точку M.

Вследствие неправильности распределения масс в области данной точки отвесная линия O_1M может также не совпадать и с нормалью (O_2M) к поверхности эллипсоида, т. е. с перпендикуляром к касательной плоскости в данной точке Земли. Принимая Землю за эллипсоид вращения с неоднородным распределением масс, необходимо для каждой точки на поверхности

Земли различать три вида географической широты: 1) астрономическую, 2) геоцентрическую и 3) геодезическую.

Астрономической (или *географической*) *широтой* φ называется угол (MQ_1Q) между плоскостью земного экватора и отвесной линией в данной точке.

Геоцентрической широтой φ' называется угол (MOQ) между плоскостью земного экватора и радиусом-вектором точки.

Геодезической широтой (обозначения не имеет) называется угол (MO_2Q) между плоскостью земного экватора и нормалью к эллипсоиду в данной точке.

Непосредственно из астрономических наблюдений измеряется только астрономическая широта. Из геодезических измерений определяется *уклонение отвеса* в данной точке, т. е. несовпадение отвесной линии с нормалью к эллипсоиду, которое и дает затем возможность из астрономической широты получить геодезическую. Однако отклонение отвеса, как правило, меньше 3″ (исключая аномальные места), и в астрономических задачах им пренебрегают и не делают различия между астрономической и геодезической широтами.

Геоцентрическая широта φ' вычисляется по формуле

$$\varphi' = \varphi - \frac{1}{2}\left(e^2 + \frac{1}{2}e^4\right)206\,265'' \sin 2\varphi + \frac{1}{8}e^4 206\,265'' \sin 4\varphi, \quad (1.1)$$

где φ — астрономическая (точнее, геодезическая) широта,

$$e = \sqrt{2\alpha - \alpha^2},$$

где α — сжатие Земли.

Радиус-вектор ρ вычисляется по формуле

$$\frac{\rho}{a} = 1 - \frac{1}{2}(1 - e^2)e^2 \sin^2\varphi - \frac{5}{8}e^4 \sin^4\varphi, \quad (1.2)$$

где φ и e имеют те же значения, что и в формуле (1.1), а a — экваториальный радиус Земли.

Международный Астрономический Союз (МАС) в 1964 г. принял следующие значения элементов земного эллипсоида:

$$a = 6378{,}16 \text{ км}, \quad b = 6356{,}78 \text{ км}, \quad \alpha = 1 : 298{,}25, \quad (1.3)$$

С принятым значением α получим $e^2 = 0{,}006695$, $e^4 = 0{,}000045$, а формулы (1.1) и (1.2) будут иметь вид

$$\varphi' = \varphi - 692'',74 \sin 2\varphi + 1'',16 \sin 4\varphi, \quad (1.4)$$

$$\frac{\rho}{a} = 1 - 0{,}003325 \sin^2\varphi - 0{,}000028 \sin^4\varphi. \quad (1.5)$$

Разность между геоцентрической и астрономической широтами не превышает 12′. На полюсах и на экваторе Земли эта разность равна нулю.

В отделе «Таблицы» дана табл. 25 для перехода от астрономической широты к геоцентрической и для вычисления $\lg \frac{\rho}{a}$.

§ 2. Небесная сфера

Сфера произвольного радиуса с центром, помещенным в произвольной точке пространства, называется *небесной сферой.*

Прямая ZOZ' (рис. 3), проходящая через центр небесной сферы и параллельная или совпадающая с направлением нити отвеса в данной точке Земли, называется *отвесной* или *вертикальной линией.*

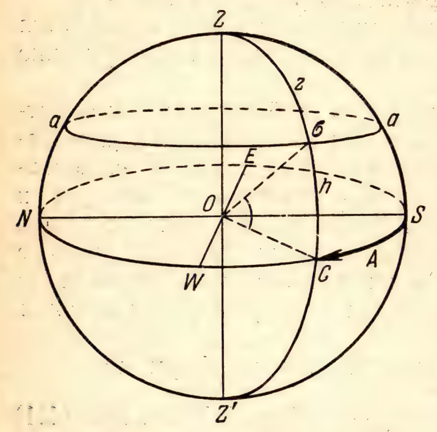


Рис. 3. Горизонтальная система координат.

Отвесная линия пересекается с поверхностью небесной сферы в двух точках: в точке *зенита* (Z) — над головой наблюдателя и в прямо противоположной точке *надира* (Z').

Большой круг небесной сферы ($SWNE$), плоскость которого перпендикулярна к отвесной линии, называется *математическим* или *истинным горизонтом.* Математический горизонт делит поверхность небесной сферы на две половины: видимую для наблюдателя, с точкой зенита Z, и невидимую, с точкой надира Z'.

Малый круг небесной сферы ($a\sigma a$), параллельный математическому горизонту и проходящий через светило σ, называется *альмукантаратом* светила.

Большой полукруг небесной сферы $Z\sigma Z'$, проходящий через зенит, светило σ и надир, называется *кругом высоты*, вертикальным кругом, или просто *вертикалом* светила.

Диаметр $\mathscr{P}O\mathscr{P}'$ (рис. 4), вокруг которого происходит кажущееся вращение небесной сферы, называется *осью мира.* Ось мира пересекается с поверхностью небесной сферы в двух точках: в *северном полюсе мира* $\mathscr{P}$ и *южном полюсе мира* $\mathscr{P}'$. Северный полюс тот, со стороны которого кажущееся вращение небесной сферы происходит по **часовой стрелке**, если смотреть на сферу снаружи.

Рис. 4. Экваториальная система координат.

Большой круг небесной сферы $AWA'E$, плоскость которого перпендикулярна к оси мира, называется *небесным экватором.*

Небесный экватор делит поверхность небесной сферы на два полушария: северное, с северным полюсом мира $\mathscr{P}$, и южное, с южным полюсом мира $\mathscr{P}'$.

Малый круг небесной сферы ($b\sigma b$), параллельный небесному экватору и проходящий через светило σ, называется *небесной* или *суточной параллелью* светила.

Большой полукруг небесной сферы $\mathscr{P}\sigma\mathscr{P}'$, проходящий через полюсы мира и через светило σ, называется *часовым кругом* или *кругом склонения* светила.

Небесный экватор пересекается с математическим горизонтом в двух точках: в *точке востока* E и в *точке запада* W.

Большой круг небесной сферы $SAZ\mathscr{P}NA'Z'\mathscr{P}'$, плоскость которого проходит через отвесную линию и ось мира, называется *небесным меридианом.*

Небесный меридиан делит поверхность небесной сферы на два полушария: восточное с точкой востока E и западное с точкой запада W.

Небесный меридиан пересекается с математическим горизонтом в двух точках: в *точке севера* N и в *точке юга* S. Точкой севера называется та, которая ближе к северному полюсу мира, точкой юга — ближняя к южному полюсу мира.

Небесный меридиан пересекается с небесным экватором в двух точках: в верхней точке экватора A, которая ближе к точке зенита Z, и в нижней точке экватора A', которая ближе к точке надира Z'.

Плоскости небесного меридиана и математического горизонта пересекаются по прямой NS, которая называется *полуденной линией.*

Дуга небесного меридиана $\mathscr{P}ZAS\mathscr{P}'$ является верхней частью меридиана, а дуга $\mathscr{P}NA'Z'\mathscr{P}'$ — нижней.

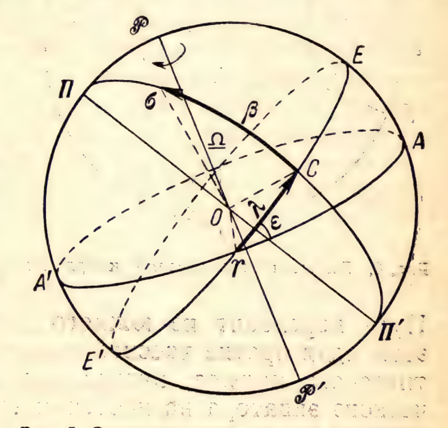


Рис. 5. Эклиптикальная система координат.

Большой круг (рис. 5) небесной сферы $E♈E'♎$, плоскость которого наклонена к плоскости небесного экватора под углом ε, называется *эклиптикой.* Угол ε для 1975,0 года равен 23°26′33″,12. Две точки небесной сферы, отстоящие на 90° от всех точек эклиптики, называются *северным полюсом эклиптики* П (в северном полушарии) и *южным полюсом эклиптики* П′ (в южном полушарии).

По эклиптике совершается видимое годичное движение Солнца среди звезд в направлении, обратном суточному вращению небесной сферы.

Эклиптика пересекается с небесным экватором в двух точках: в точке *весеннего равноденствия* ♈ и в точке *осеннего равноденствия* ♎. Точка весеннего равноденствия та, в которой Солнце пересекает небесный экватор, переходя из южного полушария небесной сферы в северное. В точке осеннего равноденствия Солнце переходит из северного полушария в южное.

Точки эклиптики, отстоящие от равноденственных на 90°, называются: точкой *летнего солнцестояния* (в северном полушарии) и точкой *зимнего солнцестояния* (в южном полушарии).

Большой полукруг небесной сферы ΠσΠ′, проходящий через полюсы эклиптики и через светило σ, называется *кругом широты* светила.

Большой круг (рис. 6) небесной сферы $G ☊ G'$, наиболее близкий к средней линии Млечного Пути, называется *галактическим экватором*. Положение галактического экватора задается экваториальными координатами (см. ниже, § 8) его северного полюса Γ, т. е. точки, отстоящей на 90° от всех точек галактического экватора и находящейся в северном полушарии небесной сферы. Диаметрально противоположная точка небесной сферы Γ′ называется южным галактическим полюсом. Большой полукруг небесной сферы ΓσCΓ′, проходящий через полюсы Галактики и через светило σ, называется *кругом галактической широты* светила.

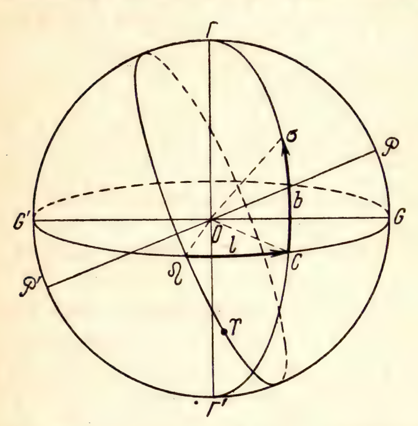


Рис. 6. Галактическая система координат.

Точка пересечения небесного экватора с галактическим экватором, в которой Млечный Путь переходит из южного полушария в северное, если при этом идти против часовой стрелки и смотреть с северного галактического полюса, называется *восходящим узлом* ☊ галактического экватора на небесном экваторе.

§ 3. Системы небесных координат

а) Горизонтальная система. Угловое расстояние по вертикальному кругу $C\sigma$ (рис. 3) от математического горизонта до светила, или центральный угол $CO\sigma$, называется *высотой* светила над горизонтом.

Высоты обозначаются буквой h и отсчитываются от 0 до +90° к зениту (светило находится в видимой части небесной

сферы) и от 0 до -90° к надиру (светило находится в невидимой части небесной сферы).

Угловое расстояние по вертикальному кругу $Z\sigma$ от зенита до светила, или центральный угол $ZO\sigma$, называется *зенитным расстоянием* светила.

Зенитные расстояния обозначаются буквой z и отсчитываются от 0 до 180° к надиру. Светила, находящиеся в видимой части небесной сферы, имеют $z < 90^\circ$, а в невидимой части $z > 90^\circ$.

Между зенитным расстоянием и высотой одного и того же светила всегда справедливо соотношение

$$z + h = 90^\circ. \qquad (1.6)$$

Положение светила на вертикальном круге может быть задано либо зенитным расстоянием, либо высотой.

Светила, находящиеся на одном альмукантарате, имеют одинаковые высоты и одинаковые зенитные расстояния.

Угловое расстояние по математическому горизонту SC от точки юга S до вертикального круга, проходящего через светило, или центральный угол SOC, называется *азимутом* светила.

Азимуты обозначаются буквой A или a и отсчитываются в сторону суточного вращения небесной сферы, т. е. в сторону запада от 0 до 360°. Иногда азимуты отсчитываются от 0 до $+180^\circ$ к западу (западные азимуты), и от 0 до -180° к востоку (восточные азимуты).

Светила, находящиеся на одном вертикальном круге, имеют одинаковые азимуты.

В геодезии азимуты отсчитываются от точки севера N либо от 0 до 360° в сторону востока, либо от 0 до $+180^\circ$ *восточные* и от 0 до -180° *западные* азимуты. Так отсчитываемые азимуты называются *геодезическими*, в отличие от *астрономических* азимутов, отсчитываемых от точки юга. Между геодезическим азимутом A' и астрономическим A существует простое соотношение

$$A' = A \pm 180^\circ. \qquad (1.7)$$

Знак «плюс» берется для $A < 180^\circ$, или для отрицательных (восточных) A, минус — для $A > 180^\circ$, или положительных (западных) A.

б) Первая экваториальная система. Угловое расстояние по часовому кругу $C\sigma$ (см. рис. 4) от небесного экватора до светила, или центральный угол $CO\sigma$, называется *склонением* светила. Склонения обозначаются буквой δ и отсчитываются от 0 до $+90^\circ$ к северному полюсу мира (светило находится в северном полушарии) и от 0 до -90° к южному полюсу (светило находится в южном полушарии).

Угловое расстояние по часовому кругу $P\sigma$, от северного полюса мира до светила, или центральный угол $PO\sigma$, называется

полярным расстоянием светила. Полярные расстояния обозначаются буквой p и отсчитываются от 0 до 180° к южному полюсу мира. Светила, находящиеся в северном полушарии, имеют $p < 90°$, а в южном полушарии $p > 90°$.

Между полярным расстоянием и склонением одного и того же светила всегда справедливо соотношение

$$p + \delta = 90°. \qquad (1.8)$$

Положение светила на часовом круге может быть задано полярным расстоянием либо склонением.

Светила, находящиеся на одной суточной параллели, имеют одинаковое склонение и одинаковое полярное расстояние.

Угловое расстояние по небесному экватору AC от верхней точки экватора до часового круга, проходящего через светило, или центральный угол AOC, называется *часовым углом* светила. Часовые углы обозначаются буквой t и отсчитываются в сторону суточного вращения небесной сферы от 0 до 360° (в градусной мере) или от 0 до 24^h (в часовой мере).

Иногда часовые углы отсчитываются от 0 до +180° (от 0 до 12^h) к западу (западные часовые углы) и от 0 до —180° (от 0 до -12^h) к востоку (восточные часовые углы).

Светила, находящиеся на одном часовом круге, имеют одинаковый часовой угол.

в) Вторая экваториальная система. Угловое расстояние по небесному экватору ΥWC (см. рис. 4) от точки весеннего равноденствия до часового круга, проходящего через светило, или центральный угол ΥOC, называется *прямым восхождением* светила.

Прямые восхождения обозначаются буквой α или A и отсчитываются в сторону, противоположную суточному вращению небесной сферы от 0 до 360° (в градусной мере) или от 0 до 24^h (в часовой мере).

Светила, находящиеся на одном часовом круге, имеют одинаковое прямое восхождение.

Прямое восхождение и склонение, или прямое восхождение и полярное расстояние, образуют вторую экваториальную систему небесных координат.

г) Эклиптическая система. Угловое расстояние по кругу широты $C\sigma$ (рис. 5) от эклиптики до светила, или центральный угол $CO\sigma$, называется *астрономической широтой* светила. Астрономические широты обозначаются буквой β и отсчитываются от 0 до +90° к северному полюсу и от 0 до —90° к южному полюсу эклиптики.

Светила, находящиеся на одном малом круге, параллельном эклиптике, имеют одинаковые астрономические широты.

Угловое расстояние по эклиптике ΥC от точки весеннего равноденствия до круга широты, проходящего через светило, или центральный угол ΥOC в плоскости эклиптики, называется

астрономической долготой светила. Астрономические долготы обозначаются буквой λ и отсчитываются в сторону видимого годичного движения Солнца по эклиптике от 0 до 360°.

Светила, находящиеся на одном круге широты, имеют одинаковые астрономические долготы.

д) Галактическая система. Угловое расстояние по кругу галактической широты $C\sigma$ (рис. 6) от галактического экватора до светила называется *галактической широтой* светила. Галактические широты обозначаются буквой b и отсчитываются от 0 до +90° к северному полюсу и от 0 до −90° к южному полюсу Галактики.

Угловое расстояние по галактическому экватору ΩC от восходящего узла галактического экватора на небесном экваторе до круга галактической широты, проходящего через светило, называется *галактической долготой* светила. Галактические долготы обозначаются буквой l и отсчитываются от 0 до 360° в сторону, противоположную движению часовой стрелки, если смотреть на плоскость галактического экватора со стороны его северного полюса.

С 1971 г. принята новая система галактических координат, в которой долгота l отсчитывается не от восходящего узла Ω, а от точки галактического экватора, соответствующей направлению на центр Галактики. Эта точка отстоит на $l_0 = 33°{,}0$ к западу от восходящего узла. Следовательно, галактическая долгота l в новой системе и долгота l' в старой системе связаны простым соотношением:

$$l = l' + l_0 = l' + 33°{,}0.$$

Если при этом окажется $l > 360°$, то из полученного значения l следует вычесть 360°.

§ 4. Единицы меры времени

Промежуток времени, в течение которого Земля делает один полный оборот вокруг своей оси относительно какой-нибудь точки на небе, называется *сутками*. Сутки являются основной единицей меры времени.

Сутки делятся на 24 часа, час (^{h}) — на 60 минут, минута (^{m}) — на 60 секунд, секунда (^{s}) — на десятые, сотые и т. д. доли.

Продолжительность суток зависит от того, относительно какой точки определяется период вращения Земли.

В астрономии за точки, определяющие продолжительность суток, принимаются:

1) *точка весеннего равноденствия*,
2) *истинное Солнце*,
3) *среднее Солнце*.

а) Звездные сутки; звездное время. Промежуток времени между двумя последовательными одноименными

кульминациями точки весеннего равноденствия на одном и том же меридиане называется *звездными сутками.*

За начало звездных суток на данном меридиане принимается момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия. Время, протекшее от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия до любого другого ее положения, выраженное в долях звездных суток (в звездных часах, минутах, секундах и т. д.), называется *звездным временем.*

Звездное время s на данном меридиане в любой момент численно равно часовому углу точки весеннего равноденствия t_{Υ}, *выраженному в часовой мере*, т. е.

$$s = t^{h}_{\Upsilon}. \qquad (1.9)$$

Звездное время равно также сумме часового угла t любого светила и прямого восхождения α *этого же светила*, т. е.

$$s = t + \alpha. \qquad (1.10)$$

В момент верхней кульминации светила $t = 0$ и звездное время

$$s = \alpha. \qquad (1.11)$$

б) Истинные солнечные сутки; истинное солнечное время. Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями центра видимого диска Солнца (истинного Солнца) на одном и том же меридиане называется *истинными солнечными сутками.*

За начало истинных солнечных суток на данном меридиане принимается момент нижней кульминации истинного Солнца (истинная полночь). Время, протекшее от момента нижней кульминации истинного Солнца до любого другого его положения, выраженное в долях истинных солнечных суток (т. е. в истинных солнечных часах, минутах, секундах и т. д.), называется *истинным солнечным временем.*

Истинное солнечное время $m_{\odot}$ *на данном меридиане в любой момент численно равно часовому углу истинного солнца* $t_{\odot}$, *выраженному в часовой мере, плюс* 12^{h}, т. е.

$$m_{\odot} = t^{h}_{\odot} + 12^{h}. \qquad (1.12)$$

Вследствие того, что истинное Солнце движется не по экватору, а по эклиптике и с переменной скоростью, истинное солнечное время неравномерно, а продолжительность истинных солнечных суток не является постоянной величиной в течение года: зимой она больше, чем летом.

в) Средние солнечные сутки; среднее солнечное время. Воображаемая точка, равномерно движущаяся по небесному экватору так, что в каждый момент T ее прямое восхождение A равно средней долготе истинного солнца L, называется *средним экваториальным Солнцем.*

Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями среднего экваториального Солнца на одном и том же меридиане называется *средними солнечными сутками.* За начало средних солнечных суток на данном меридиане принимается момент нижней кульминации среднего экваториального Солнца (средняя полночь).

Время, протекшее от момента нижней кульминации среднего экваториального Солнца до любого другого его положения, выраженное в долях средних солнечных суток (в средних солнечных часах, минутах, секундах и т. д.), называется *средним солнечным временем.*

Среднее солнечное время m на данном меридиане в любой момент численно равно часовому углу среднего экваториального Солнца $t_{ср}$, выраженному в часовой мере, плюс 12^h, т. е.

$$m = t^h_{ср} + 12^h. \qquad (1.13)$$

Средняя долгота истинного Солнца, а следовательно, и прямое восхождение среднего экваториального Солнца, для любого момента T вычисляются по формуле

$$L = A = L_0 + n(T - T_0), \qquad (1.14)$$

где L_0 — средняя долгота для момента T_0, а n — среднее увеличение долготы Солнца.

Согласно С. Ньюкому,

$$A = 18^h38^m45^s{,}836 + 8640184^s{,}542T + 0^s{,}093T^2,$$

где T — число юлианских столетий (см. § 6) от момента 1900 г., январь 0, 12^h среднего солнечного времени в Гринвиче (средний гринвичский полдень), или

$$A = 18^h38^m45^s{,}836 + 236^s{,}55536049d + 0^s{,}093T^2,$$

где d — число средних суток, протекших с 1900 г., январь 0, 12^h (средний гринвичский полдень).

По этим формулам вычисляется звездное время в среднюю гринвичскую полночь, которое публикуется в астрономических календарях.

г) Уравнение времени. Разность часовых углов среднего экваториального Солнца $t_{ср}$ и истинного Солнца $t_\odot$ называется *уравнением времени* η.

Приближенная величина уравнения времени (с ошибкой $0^m{,}1$—$0^m{,}2$) может быть вычислена по формуле

$$\eta = t_{ср} - t_\odot = 7^m{,}7 \sin(L + 78^\circ) - 9^m{,}5 \sin 2L, \qquad (1.15)$$

где L — средняя долгота Солнца.

В переменной части Астрономического Календаря ВАГО уравнение времени дается в 0^h всемирного времени каждых суток в седьмом столбце солнечных эфемерид.

д) Связь истинного солнечного времени со средним солнечным временем. Если на каком-нибудь меридиане истинное солнечное время равно $m_{\odot}$, то среднее солнечное время m на этом же меридиане определяется по формуле

$$m = m_{\odot} + \eta. \qquad (1.16)$$

И наоборот, если среднее солнечное время равно m, то истинное солнечное время

$$m_{\odot} = m - \eta. \qquad (1.17)$$

е) Относительная продолжительность средних солнечных и звездных суток. В тропическом году (см. § 6) содержится 365,2422 средних солнечных суток и 366,2422 звездных суток. Следовательно,

365,2422 средн. солн. суток = 366,2422 звездн. суток.

Отсюда, с одной стороны,

$$1 \text{ средн. солн. сутки} = \frac{366{,}2422}{365{,}2422} \text{ звездн. суток}$$

и, с другой стороны,

$$1 \text{ звездные сутки} = \frac{365{,}2422}{366{,}2422} \text{ средн. солн. суток.}$$

Коэффициент

$$k = \frac{366{,}2422}{365{,}2422} = 1{,}002738 \qquad (1.18)$$

служит для перевода промежутков среднего солнечного времени в часы, минуты и секунды звездного времени, а коэффициент

$$k' = \frac{365{,}2422}{366{,}2422} = 0{,}997270 \qquad (1.19)$$

— для перевода промежутков звездного времени в часы, минуты и секунды среднего солнечного времени. Таким образом, если промежуток времени в средних солнечных единицах есть m, а в звездных единицах s, то

$$\left.\begin{aligned} mk &= s, \\ sk' &= m. \end{aligned}\right\} \qquad (1.20)$$

Отсюда, в частности, следует, что

24^h средн.	солн.	времени	=	$24^h03^m56^s,5554$	звездного	времени,
1^h »	»	»	=	$1^h00^m09^s,8565$	»	»
1^m »	»	»	=	$01^m00^s,1643$	»	»
1^s »	»	»	=	$01^s,0027$	»	»
24^h звезд.	времени		=	$23^h56^m04^s,0905$	средн. солн.	времени.
1^h »	»		=	$59^m50^s,1704$	» »	»
1^m »	»		=	$59^s,8362$	» »	»
1^s »	»		=	$0^s,9973$	» »	»

Для облегчения вычислений на основании соотношений (1.20) составляются более подробные таблицы, по которым любой промежуток времени, выраженный в одних единицах, можно легко выразить в других единицах. Такие таблицы помещены в отделе «Таблицы» (табл. 15 и 16).

ж) Связь среднего солнечного времени со звездным временем. 1. Пусть m есть среднее солнечное время в некоторый момент соответствующей календарной даты на каком-нибудь меридиане с восточной долготой от Гринвича λ. Требуется вычислить звездное время s в этот же момент, на этом же меридиане.

Прежде всего необходимо вычислить звездное время s_0 в среднюю полночь на данном меридиане по следующей формуле:

$$s_0 = S_0 - \frac{\lambda^h}{24^h} \cdot 3^m,56^s,5554, \tag{1.21}$$

где S_0 — звездное время в среднюю гринвичскую полночь соответствующей календарной даты, которое можно вычислить с помощью формулы (1.14) или взять из Астрономического Ежегодника. В Переменной части АК ВАГО оно дано в последнем столбце эфемерид Солнца.

Величина $\frac{\lambda^h}{24^h} \cdot 3^m 56^s,5554$ также может быть заранее табулирована по аргументу λ (см. табл. 12 в отделе «Таблицы»). Затем вычисляем

$$s = s_0 + mk$$

или

$$s = S_0 - \frac{\lambda^h}{24^h} \cdot 3^m 56^s,5554 + mk \tag{1.22}$$

($k = 1,002738$).

2. Пусть s есть звездное время в некоторый момент соотвествующей календарной даты на каком-нибудь меридиане с восточной долготой от Гринвича λ. Требуется вычислить среднее солнечное время m в этот же момент, на этом же меридиане.

Вычислив звездное время s_0 в среднюю полночь соответствующей календарной даты на данном меридиане по формуле (1.21), сможем получить среднее солнечное время по формуле

$$m = (s - s_0) k'$$

или

$$m = \left[s - \left(S_0 - \frac{\lambda^h}{24^h} \cdot 3^m 56^s,5554\right)\right] k' \tag{1.23}$$

($k' = 0,997270$).

Для приближенных расчетов, с точностью до 5 минут, формулы (1.22) и (1.23) можно упростить, а именно

$$s = S_0 + m, \tag{1.24}$$

$$m = s - S_0. \tag{1.25}$$

Кроме того, звездное время в среднюю гринвичскую полночь S_0 при отсутствии Астрономического Календаря приближенно можно рассчитать по табл. I.

Таблица I

Сентябрь	22	0^h	Январь	21	8^h	Май	23	16^h
Октябрь	22	2	Февраль	21	10	Июнь	22	18
Ноябрь	22	4	Март	23	12	Июль	23	20
Декабрь	22	6	Апрель	22	14	Август	22	22

При этом нужно иметь в виду, что за каждые сутки звездное время изменяется приблизительно на 4 минуты.

§ 5. Системы счета времени

а) Местное время. Звездное время s, истинное солнечное $m_\odot$ и среднее солнечное время m какого-нибудь меридиана называются *местным звездным, местным истинным солнечным* и *местным средним солнечным* временем этого меридиана.

Точки, лежащие на одном географическом меридиане, в один и тот же момент имеют одинаковое местное время.

Разность местных звездных, истинных солнечных или средних солнечных времен двух меридианов в один и тот же момент численно равна разности долгот этих меридианов, выраженных в часовой мере, т. е.

$$\left.\begin{aligned} s_1 - s_2 &= \lambda_1^h - \lambda_2^h, \\ m_{\odot 1} - m_{\odot 2} &= \lambda_1^h - \lambda_2^h, \\ m_1 - m_2 &= \lambda_1^h - \lambda_2^h. \end{aligned}\right\} \tag{1.26}$$

б) Всемирное время. Местное среднее солнечное время гринвичского меридиана называется *всемирным* или *мировым* временем T_0.

Местное среднее солнечное время какого-либо пункта на Земле определяется по формуле

$$m = T_0 + \lambda^h, \tag{1.27}$$

где λ^h — географическая долгота пункта, выраженная в часовой мере и считаемая положительной к востоку от Гринвича.

В эфемеридах и таблицах переменной части АК ВАГО моменты большинства явлений указаны по всемирному времени.

Моменты этих явлений по местному среднему солнечному времени легко определяются по формуле (1.27).

в) Поясное время. *Поясным временем* $T_п$ какого-либо пункта называется местное среднее солнечное время основного географического меридиана того часового пояса, в котором расположен данный пункт.

Часовыми поясами называются 24 участка вдоль меридианов от северного полюса Земли до южного, ширина которых примерно равна 15° и на которые условно разделена вся поверхность Земли. *Основными меридианами* часовых поясов называются географические меридианы, проходящие приблизительно по середине часовых поясов и отстоящие точно на 15° по долготе друг от друга.

Часовые пояса занумерованы от 0 до 23. Основным меридианом нулевого пояса является гринвичский меридиан. Основным меридианом первого часового пояса является географический меридиан, расположенный от гринвичского точно на 15° к востоку, основным меридианом второго часового пояса — меридиан, расположенный точно на 30° к востоку от Гринвича, и т. д.

Границы же между часовыми поясами не проходят точно по меридианам, а согласуются с государственными, административно-экономическими, или естественными границами и могут быть при необходимости изменены.

Разность поясных времен двух пунктов является всегда целым числом часов, равным разности номеров их часовых поясов, т. е.

$$T_{п2} - T_{п1} = N_2^h - N_1^h. \qquad (1.28)$$

Отсюда поясное время какого-либо пункта с восточной долготой λ^h

$$\left.\begin{aligned} T_п &= T_0 + N^h, \\ T_п &= m + N^h - \lambda^h, \end{aligned}\right\} \qquad (1.29)$$

и, наоборот,

$$\left.\begin{aligned} T_0 &= T_п - N^h, \\ m &= T_п - N^h + \lambda^h. \end{aligned}\right\} \qquad (1.30)$$

г) Декретное время. С 16 июня 1930 г. декретом Правительства СССР стрелки всех часов передвинуты вперед относительно поясного времени на 1 час. Такое время получило название *декретного* — $T_д$. Следовательно,

$$\left.\begin{aligned} T_д &= T_п + 1^h, \\ T_д &= T_0 + N^h + 1^h, \\ T_д &= m + N^h - \lambda^h + 1^h. \end{aligned}\right\} \qquad (1.31)$$

Отсюда

$$\left.\begin{aligned} T_п &= T_д - 1^h, \\ T_0 &= T_д - N^h - 1^h, \\ m &= T_д - N^h + \lambda^h - 1^h. \end{aligned}\right\} \quad (1.32)$$

В Западной Европе и в США стрелки часов переводятся на 1 час вперед относительно поясного времени только на время летних месяцев.

Такое время получило название *летнего* времени. Начало и конец летнего времени устанавливаются каждый год особым распоряжением правительства соответствующей страны.

С октября 1967 г. Англия также перешла на систему, аналогичную нашему декретному времени. Это время Англии называют «лондонским», и оно отличается от среднего гринвичского (всемирного) времени в бо́льшую сторону ровно на один час.

д) Эфемеридное время. Положения Солнца, Луны и планет, вычисленные на основании теории, относятся ко времени, которое является независимой переменной дифференциальных уравнений движения тел Солнечной системы. Это время считается равномерным и называется *эфемеридным* ($T_{эф}$).

Если бы Земля вращалась вокруг своей оси так же равномерно, то наблюденные координаты Солнца, Луны и планет в 0^h всемирного времени и вычисленные для 0^h эфемеридного времени в точности совпадали бы. В действительности, как показывают наблюдения, в силу неравномерности вращения Земли наблюденные координаты не совпадают с вычисленными.

Разность между наблюденными и вычисленными координатами тем больше, чем больше среднее суточное движение светила n, и зависит от разности ΔT между эфемеридным временем $T_{эф}$ и всемирным временем T_0.

Наибольшее среднее суточное движение имеет Луна ($n = 47\,435''$), затем Меркурий ($n = 14\,732''$), Венера ($n = 5768''$) и Солнце ($n = 3548''$). Средние суточные движения остальных больших планет значительно меньше и практически разностей между наблюденными и эфемеридными координатами обнаружить нельзя.

Величина $\Delta T = T_{эф} - T_0$ изменяется с течением времени вследствие неравномерного вращения Земли вокруг оси и вычисляется из сравнения наблюденных и эфемеридных координат Луны (как светила с наибольшим суточным движением) по формуле

$$\Delta T = +24^s{,}349 + 72^s{,}3165T + 29^s{,}943T^2 + 1{,}821B,$$

где T — время в юлианских столетиях, отсчитанное от момента 1900,0 12^h эфемеридного времени в Гринвиче; B — флуктуация Луны, получаемая из сравнения ее наблюдаемых и эфемеридных положений.

Разность ΔT в начале двадцатого столетия была близка к нулю. В 1973 г. принято экстраполированное значение $\Delta T =$ $= +42$ *сек*. Разность между эфемеридным временем и всемирным с течением времени увеличивается, так как происходит общее замедление вращения Земли, хотя иногда наблюдается и некоторое ускорение вращения.

На основании решений VIII (1952 г.) и IX (1955 г.) съездов Международного Астрономического Союза с 1960 г. в таблицах астрономических ежегодников термин «всемирное время» (которое определить наперед невозможно) заменен на «эфемеридное время».

В Астрономическом Календаре ВАГО замена заголовка «всемирное время» на «эфемеридное время» повлекла бы за собой изменения в таблицах, данных только для Луны, прямое восхождение и склонение которой изменились бы за время ΔT на 1^s и на $0',1$ соответственно, т. е. до одной единицы последнего знака при принятой в Календаре точности. Поэтому редколлегия Календаря решила сохранить термин «всемирное время» и в дальнейших его выпусках. В переменной части Астрономического Календаря ВАГО в объяснениях к эфемеридам на каждый год дается экстраполированное значение $\Delta T = T_{эф} - T_0$.

§ 6. Календарь. Юлианские дни

Система счета длительных промежутков времени называется *календарем*. Составление календарей основывается на единицах меры времени значительно бо́льших, чем средние солнечные сутки.

Так, в основе современного календаря лежит *тропический год* — промежуток времени между двумя последовательными прохождениями среднего Солнца через точку весеннего равноденствия.

Тропический год содержит 365,2422 средних солнечных суток, или 366,2422 звездных суток.

Главная задача при составлении календаря заключается в том, чтобы продолжительность календарного года, в среднем за несколько лет, была как можно ближе к продолжительности тропического года.

а) В *юлианском* календаре (старый стиль), введенном Юлием Цезарем в 46 г. до н. э., это достигалось следующим простым правилом:

Продолжительность календарного года принималась равной 365 средним солнечным суткам, за исключением тех годов, номера которых делятся на 4 без остатка; продолжительность последних принималась равной 366 суткам и они получили название *високосных годов*.

В високосном году в феврале считается не 28, а 29 дней.

Таким образом, продолжительность года в юлианском календаре в среднем за 4 года равна 365,25 средних солнечных суток, т. е. календарный год длиннее тропического на 0,0078 средних солнечных суток. Счет времени юлианскими годами за 128 лет даст расхождение со счетом тропическими годами приблизительно в одни сутки, за 400 лет — приблизительно в трое суток. (Например, день весеннего равноденствия, или начало тропического года, через 400 лет по юлианскому календарю наступит на три дня раньше). Промежуток времени в 36 525 средних солнечных суток называется *юлианским столетием.*

б) В 1582 г. римский папа Григорий XIII произвел реформу юлианского календаря. Реформа эта заключалась в следующем:

1. После 4 октября 1582 г. стали считать не 5 октября, а 15 октября. Этим устранялось расхождение в 10 суток со счетом тропическими годами, которое накопилось с 325 г.*).

2. Високосным годом в дальнейшем стали считать каждый четвертый, но за исключением годов с целым числом столетий (1700, 1800, 1900); год с целым числом столетий стали считать високосным только в том случае, если число сотен делится на 4 без остатка (например, 1600, 2000 и т. д.).

Этим правилом продолжительность календарного года в среднем за 400 лет устанавливалась равной 365,2425 средних солнечных суток, т. е. календарный год стал длиннее тропического года всего лишь на 0,0003 средних солнечных суток.

Эта система счета получила название *григорианского* календаря или нового стиля. Григорианский календарь был введен в западных странах в течение XVI—XVII веков. В СССР новый стиль был введен декретом Правительства в 1918 г., при этом вместо 1 февраля было предписано считать 14 февраля, так как расхождение юлианского календаря со счетом тропическими годами к 1918 г. составило уже 13 суток.

в) *Юлианские дни.* При решении некоторых задач астрономии (например, при исследовании переменных звезд) необходимо знать число средних солнечных суток, протекших между двумя датами, далеко отстоящими друг от друга. Этот вопрос быстро и уверенно решается при помощи *юлианских дней.* Так называются дни, которые непрерывно считаются через годы, столетия и тысячелетия, от 1 января 4713 г. до нашей эры. При этом начало каждого юлианского дня считается в средний гринвичский полдень.

Дни юлианского периода в переменной части АК ВАГО помещаются во втором столбце ежемесячных эфемерид Солнца. Приводимые там целые числа относятся к средним гринвич-

---

*) В 325 г. состоялся Никейский собор, на котором были установлены правила празднования религиозных праздников (в частности, Пасхи). Правила эти были связаны с наступлением некоторых естественных явлений, например, с днем весеннего равноденствия, которое приходилось в этом году по календарю на 21 марта.

ским полудням соответствующих календарных суток, т. е. к 12^h всемирного времени. Поэтому для средней гринвичской полуночи той же календарной даты, т. е. для 0^h всемирного времени, данные календаря нужно уменьшить на 0,5; например, средняя гринвичская полночь с 2 на 3 июня 1973 г. выразится в юлианской системе числом 2 441 835,5.

§ 7. Основные формулы сферической тригонометрии

Фигура на поверхности сферы, образованная тремя дугами больших кругов, соединяющими попарно три какие-либо точки на сфере, называется *сферическим треугольником.*

Вершины и углы сферического треугольника обозначаются большими буквами латинского алфавита A, B, C, а противоположные им стороны — соответствующими малыми буквами того же алфавита a, b, c (рис. 7).

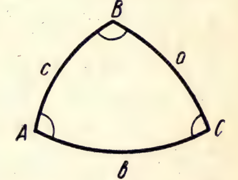


Рис. 7. Сферический треугольник.

Каждая сторона сферического треугольника меньше суммы двух других сторон, т. е.

$$a < b + c,$$
$$b < a + c,$$
$$c < a + b.$$

Каждая сторона сферического треугольника больше разности двух других сторон, т. е.

$$a > b - c, \quad \text{или} \quad a > c - b,$$
$$b > a - c, \quad \text{или} \quad b > c - a,$$
$$c > a - b, \quad \text{или} \quad c > b - a.$$

Полупериметр сферического треугольника всегда больше каждой из его сторон, т. е.

$$\frac{a + b + c}{2} > a,$$
$$\frac{a + b + c}{2} > b,$$
$$\frac{a + b + c}{2} > c.$$

Сумма сторон сферического треугольника всегда меньше 360°, т. е

$$a + b + c < 360°.$$

Сумма углов сферического треугольника всегда меньше 540° и больше 180°, т. е.

$$540° > A + B + C > 180°.$$

Разность между суммой трех углов сферического треугольника и 180° называется *сферическим избытком* E, т. е.

$$E = A + B + C - 180°.$$

Площадь сферического треугольника s равна произведению сферического избытка и величины $\frac{\pi R^2}{180°}$, т. е.

$$s = (A + B + C - 180°)\frac{\pi R^2}{180°}, \tag{1.33}$$

где R — радиус сферы, на поверхности которой образован треугольник.

Косинус одной стороны сферического треугольника равняется произведению косинусов двух других его сторон плюс произведение синусов тех же сторон на косинус угла между ними, т. е.

$$\left.\begin{aligned} \cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A, \\ \cos b &= \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B, \\ \cos c &= \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C. \end{aligned}\right\} \tag{1.34}$$

Синусы сторон сферического треугольника пропорциональны синусам противолежащих им углов, т. е.

$$\frac{\sin a}{\sin c} = \frac{\sin A}{\sin C}; \quad \frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin A}{\sin B};$$

$$\frac{\sin b}{\sin c} = \frac{\sin B}{\sin C},$$

или, иначе, отношение синуса стороны сферического треугольника к синусу противолежащего угла есть величина постоянная, т. е.

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} = \text{const.} \tag{1.35}$$

Синус стороны сферического треугольника, умноженный на косинус прилежащего угла, равен произведению синуса другой стороны, ограничивающей прилежащий угол, на косинус третьей стороны минус косинус стороны, ограничивающей угол, умноженный на произведение синуса третьей стороны и косинуса угла, противолежащего первой стороне, т. е.

$$\left.\begin{aligned} \sin a \cos C &= \sin b \cos c - \cos b \sin c \cos A, \\ \sin b \cos A &= \sin c \cos a - \cos c \sin a \cos B, \\ \sin c \cos B &= \sin a \cos b - \cos a \sin b \cos C, \\ \sin a \cos B &= \sin c \cos b - \cos c \sin b \cos A, \\ \sin b \cos C &= \sin a \cos c - \cos a \sin c \cos B, \\ \sin c \cos A &= \sin b \cos a - \cos b \sin a \cos C. \end{aligned}\right\} \tag{1.36}$$

Формулы (1.34)—(1.36) являются основными формулами сферической тригонометрии.

Полярным треугольником для данного сферического треугольника называется такой сферический треугольник, по отношению сторон которого вершины данного являются полюсами, т. е. отстоят от сторон на 90° (рис. 8).

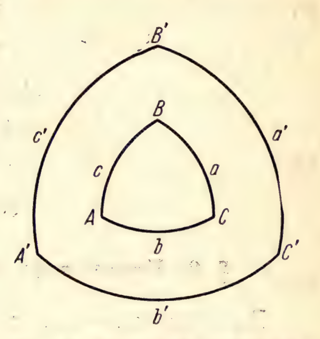


Рис. 8. Полярный треугольник для сферического треугольника *ABC*.

Сумма угла данного сферического треугольника и соответствующей стороны полярного треугольника равна 180°, т. е.

$$\left.\begin{array}{c} A + a' = 180^\circ; \quad B + b' = 180^\circ, \\ C + c' = 180^\circ, \end{array}\right\} \quad (1.37)$$

и наоборот, сумма угла полярного треугольника и соответствующей стороны данного сферического треугольника равна 180°, т. е.

$$\left.\begin{array}{c} A' + a = 180^\circ; \quad B' + b = 180^\circ; \\ C' + c = 180^\circ. \end{array}\right\} \quad (1.38)$$

Пользуясь этими свойствами полярного треугольника, из основных формул (1.34)—(1.36) можно получить другие зависимости между сторонами и углами сферического треугольника.

Например, из формул (1.34), и (1.37) и (1.38) имеем

$$\cos A' = \cos B' \cos C' + \sin B' \sin C' \cos a',$$

$$\cos B' = \cos C' \cos A' + \sin C' \sin A' \cos b',$$

$$\cos C' = \cos A' \cos B' + \sin A' \sin B' \cos c'.$$

Эти формулы, равно как и те, которые можно получить из других основных, используя соотношения (1.37) и (1.38), справедливы, конечно, не только для полярного треугольника, но и вообще для всякого сферического треугольника.

Если в сферическом треугольнике один из углов равен 90°, то треугольник называется *прямоугольным.*

Для решения прямоугольных сферических треугольников наиболее употребительны следующие формулы (которые легко получаются из основных и выводимых из них формул, если в треугольнике положить $A = 90°$):

$$\cos a = \cos b \cos c = \operatorname{ctg} B \operatorname{ctg} C,$$

$$\sin b = \sin a \sin B,$$

$$\sin c = \sin a \sin C,$$

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c,$$

$$\operatorname{tg} b = \sin c \operatorname{tg} B,$$

$$\operatorname{tg} c = \operatorname{tg} a \cos B,$$

$$\cos B = \cos b \sin C.$$

Для решения сферических треугольников со стороной $a = 90°$ употребляются следующие формулы:

$$\cos A = -\operatorname{ctg} b \operatorname{ctg} c = -\cos B \cos C,$$
$$\sin B = \sin A \sin b,$$
$$\sin C = \sin A \sin c.$$
$$\sin A \cos b = \cos B \sin C,$$
$$\operatorname{tg} B = \operatorname{tg} b \sin C,$$
$$\operatorname{tg} C = -\operatorname{tg} A \cos b,$$
$$\cos b = \sin c \cos B.$$

§ 8. Переход от одной системы координат к другой

Во всех случаях перехода от одной системы координат к другой необходимо, по формулам сферической тригонометрии, решать соответствующие сферические треугольники. Ниже эти треугольники будут указаны и будут даны окончательные формулы перехода без подробных выводов.

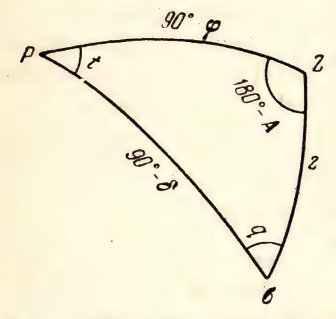


Рис. 9. Параллактический треугольник.

Переход от экваториальных координат к горизонтальным и обратно. В основе преобразований лежит сферический треугольник $PZ\sigma$ (рис. 9), который называется *параллактическим*. Вершинами его являются: зенит (Z), полюс мира (P) и светило (σ). Сторона ZP есть дуга небесного меридиана, равная $90° - \varphi$, где φ — широта места наблюдения. Сторона $Z\sigma$ есть дуга вертикального круга и равна, следовательно, зенитному расстоянию светила z; третья сторона $P\sigma$ есть дуга часового круга и равна полярному расстоянию p светила или $90° - \delta$, где δ — склонение светила. Угол $PZ\sigma = 180° - A$, где A — азимут светила; угол $ZP\sigma = t$, где t — часовой угол светила, $t = s - \alpha$ (см. формулу 1.10). Угол $P\sigma Z = q$ называется *параллактическим* углом.

1. *Переход от экваториальных координат к горизонтальным.* Даны φ, δ и α; найти z и A для момента T среднего солнечного времени (местного, поясного или декретного).

Прежде всего, необходимо по моменту T найти местное звездное время s и вычислить часовой угол $t = s - \alpha$. Затем z и A вычисляются по формулам:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t,$$
$$\sin z \sin A = \cos \delta \sin t,$$
$$\sin z \cos A = -\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos t.$$

Эти формулы удобны для вычислений с арифмометром. Для вычислений с логарифмами удобнее следующие формулы:

$$\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg}\delta}{\cos t},$$

$$\operatorname{tg} A = \frac{\cos M \operatorname{tg} t}{\sin(\varphi - M)},$$

$$\operatorname{tg} z = \operatorname{tg}(\varphi - M)\sec A.$$

Если $\operatorname{tg} M > 0$, то M нужно брать в первом или третьем квадранте; если $\operatorname{tg} M < 0$, то во втором или четвертом квадранте. Если $0° < t < 180°$, то $0° < A < 180°$; если $180° < t < 360°$, то и $180° < A < 360°$. Кроме того, всегда $0° < z < 180°$.

Для контроля вычислений служит формула

$$\frac{\cos\delta\cos t}{\sin z\cos A} = \frac{\cos M}{\sin(\varphi - M)}.$$

2. *Переход от горизонтальных координат к экваториальным.* Даны φ, z и A; найти δ и t, а затем и α, если известно s. Для вычислений с арифмометром служат следующие формулы:

$$\sin\delta = \sin\varphi\cos z - \cos\varphi\sin z\cos A,$$

$$\cos\delta\sin t = \sin z\sin A,$$

$$\cos\delta\cos t = \cos z\cos\varphi + \sin z\sin\varphi\cos A.$$

Для вычислений с логарифмами формулы имеют вид

$$\operatorname{tg} M = \operatorname{tg} z\cos A,$$

$$\operatorname{tg} t = \frac{\sin M\operatorname{tg} A}{\cos(\varphi - M)},$$

$$\operatorname{tg}\delta = \operatorname{tg}(\varphi - M)\cos t, \quad \alpha = s - t.$$

Квадранты для M и t выбираются по тем же условиям, что и в предыдущем случае.

Для контроля вычислений служит формула

$$\frac{\sin z\cos A}{\cos\delta\cos t} = \frac{\sin M}{\cos(\varphi - M)}.$$

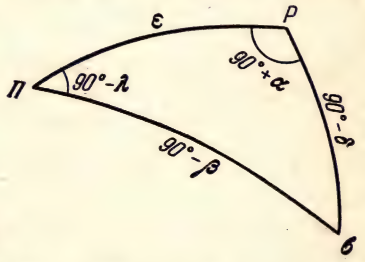


Рис. 10. Сферический треугольник, связывающий светило, полюс мира и полюс эклиптики.

Переход от экваториальных координат к эклиптическим и обратно. В основе преобразований лежит сферический треугольник $P\sigma\Pi$ (рис. 10). Вершинами его являются: полюс мира P, полюс эклиптики Π и светило σ. Сторона ΠP равна углу наклона эклиптики к экватору ε, сторона $P\sigma$ есть полярное расстояние $p = 90° - \delta$, сторона $\Pi\sigma = 90° - \beta$, где β — астрономическая широта светила. Угол $P\Pi\sigma = 90° - \lambda$, где λ —

астрономическая долгота светила, и, наконец, угол $\Pi P \sigma = 90° + \alpha$.

1. *Переход от экваториальных координат к эклиптическим.* Даны α, δ и ε; найти λ и β. Формулы для вычислений с арифмометром следующие:

$$\sin\beta = \cos\varepsilon \sin\delta - \sin\varepsilon \cos\delta \sin\alpha,$$
$$\cos\beta \cos\lambda = \cos\delta \cos\alpha,$$
$$\cos\beta \sin\lambda = \sin\delta \sin\varepsilon + \cos\delta \cos\varepsilon \sin\alpha.$$

Формулы для вычислений с логарифмами:

$$\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg}\delta}{\sin\alpha},$$
$$\operatorname{tg}\lambda = \frac{\cos(M - \varepsilon)\operatorname{tg}\alpha}{\cos M},$$
$$\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}(M - \varepsilon)\sin\lambda.$$

Квадрант для M выбирается по знаку $\operatorname{tg} M$, а λ лежит в том же квадранте, как и α.

Формула для контроля вычислений:

$$\frac{\cos\beta \sin\lambda}{\cos\delta \sin\alpha} = \frac{\cos(M - \varepsilon)}{\cos M}.$$

2. *Переход от эклиптических координат к экваториальным.* Даны λ, β и ε; найти α и δ. Формулы для вычислений с арифмометром:

$$\sin\delta = \cos\varepsilon \sin\beta + \sin\varepsilon \cos\beta \sin\lambda,$$
$$\cos\delta \cos\alpha = \cos\beta \cos\lambda,$$
$$\cos\delta \sin\alpha = -\sin\beta \sin\varepsilon + \cos\beta \cos\varepsilon \sin\lambda.$$

Формулы для вычислений с логарифмами:

$$\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\sin\lambda},$$
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\cos(M + \varepsilon)\operatorname{tg}\lambda}{\cos M},$$
$$\operatorname{tg}\delta = \operatorname{tg}(M + \varepsilon)\sin\alpha.$$

Квадранты для M и α выбираются по условиям, аналогичным предыдущему случаю.

Формула для контроля вычислений:

$$\frac{\cos\delta \sin\alpha}{\cos\beta \sin\lambda} = \frac{\cos(M + \varepsilon)}{\cos M}.$$

Переход от экваториальных координат к галактическим. В основе преобразований лежит сферический треугольник $\mathcal{P}\Gamma\sigma$

(рис. 11). Вершинами его являются: северный полюс мира $\mathscr{P}$, северный полюс Галактики Г и светило σ. Сторона $\mathscr{P}\sigma$ есть $90° - \delta$, где δ — склонение светила; сторона $\Gamma\sigma$ есть дополнение до 90° галактической широты светила, т. е. $90° - b$; сторона $\Gamma\mathscr{P}$ равна $90° - D$, где D — склонение северного полюса Галактики; угол $\mathscr{P}\Gamma\sigma = 90° - l$, где l — галактическая долгота светила; угол $\Gamma\mathscr{P}\sigma = \alpha - A$, где α — прямое восхождение светила, а A — прямое восхождение северного полюса Галактики.

Даны α, δ, D и A; найти b и l.

Формулы для вычислений с арифмометром:

$$\left.\begin{aligned} \sin b &= \sin D \sin\delta + \cos D \cos\delta \cos(\alpha - A), \\ \cos b \cos l &= \cos\delta \sin(\alpha - A), \\ \cos b \sin l &= \sin\delta \cos D - \cos\delta \sin D \cos(\alpha - A); \end{aligned}\right\} \quad (1.39)$$

для вычислений с логарифмами:

$$\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg}\delta}{\cos(\alpha - A)},$$

$$\operatorname{tg} l = \frac{\sin(M - D)\operatorname{ctg}(\alpha - A)}{\cos M},$$

$$\operatorname{tg} b = \operatorname{ctg}(M - D)\sin l.$$

Формула для контроля вычислений:

$$\frac{\cos b \sin l}{\cos\delta\cos(\alpha - A)} = \frac{\sin(M - D)}{\cos M}.$$

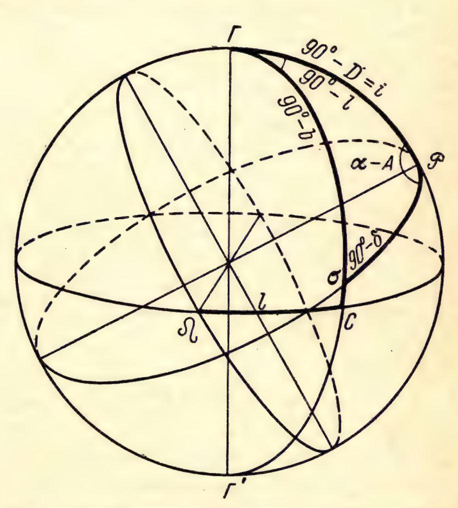


Рис. 11. Сферический треугольник, связывающий светило, полюс мира и полюс Галактики.

В этих формулах положение галактического экватора задано прямым восхождением A и склонением D его северного полюса Г. Очень часто положение галактического экватора задается прямым восхождением ☊ его восходящего узла и углом наклонения i галактического экватора к небесному экватору. Эти четыре величины связаны между собой соотношениями

$$☊ - A = 90°,$$

$$D + i = 90°.$$

Следовательно, сторона $\Gamma\mathscr{P} = 90° - D = i$, а угол $\Gamma\mathscr{P}\sigma = \alpha - A = \alpha - ☊ + 90°$ и формулы (1.39) принимают вид

$$\left.\begin{aligned} \sin b &= \sin\delta\cos i - \cos\delta\sin i \sin(\alpha - ☊), \\ \sin l \cos b &= \sin\delta \sin i + \cos\delta\cos i \sin(\alpha - ☊), \\ \cos l \cos b &= \cos\delta\cos(\alpha - ☊). \end{aligned}\right\} \quad (1.40)$$

Так как положение галактического экватора определяется с точностью в лучшем случае до десятых долей градуса, то l и b также вычисляют с точностью до 0°,1. При этом пользуются готовыми таблицами, например, Ольсона «Lund Observatory Tables for the Conversion of Equatorial Coordinates into Galactic Coordinates».

В этих таблицах приняты координаты северного полюса Галактики для эпохи 1900,0, а именно: $A = 190°$ (12^h40^m), $D = +28°$. Следовательно, $i = 62°$, а прямое восхождение узла $\Omega = 280°$.

В 1961 г. Торгерд опубликовал аналогичные таблицы с координатами северного полюса Галактики для эпохи 1950,0. В этих таблицах принято $A = 192°{,}2$ (12^h49^m), $D = +27°{,}4$, $i = 62°{,}6$ и $\Omega = 282°{,}2$.

В отделе «Таблицы» приведена табл. 37 для вычисления l и b (в новой системе, см. § 3 гл. I) по экваториальным координатам α и δ.

Для перехода от галактических координат l и b к экваториальным координатам α и δ (на практике эта задача встречается редко) служат следующие формулы:

$$\sin\delta = \sin b \cos i + \cos b \sin i \sin l,$$
$$-\sin(\alpha - \Omega)\cos\delta = \sin\beta \sin i - \cos b \cos i \sin l,$$
$$\cos(\alpha - \Omega)\cos\delta = \cos b \cos l.$$

Здесь l должна быть выражена в старой системе отсчета (см. § 3 гл. I).

§ 9. Параллакс

Кажущееся смещение светила, обусловленное перемещением наблюдателя, называется *параллактическим смещением* или *параллаксом* светила. Параллактические смещения светила тем больше, чем ближе светило к наблюдателю и чем больше перемещение наблюдателя.

Координаты светил, определенные из точки на поверхности Земли, называются *топоцентрическими.*

Топоцентрические координаты каждого светила в один и тот же момент для различных точек поверхности Земли различны.

Различие это заметно для тел Солнечной системы и практически не ощутимо для звезд (меньше 0″,00004). Поэтому для тел Солнечной системы в эфемеридах календарей даются *геоцентрические* координаты, т. е. координаты, отнесенные к центру Земли. Для перехода от геоцентрических координат к топоцентрическим необходимо учесть влияние параллакса.

Суточным параллаксом светила называется разность направлений, по которым светило было бы видно из центра Земли и из какой-нибудь точки на ее поверхности (рис. 12). Иными

словами, суточный параллакс есть угол p', под которым со светила был бы виден радиус Земли в месте наблюдения. Для светила, находящегося в зените места наблюдения, суточный параллакс равен нулю. Если светило находится на горизонте, то суточный параллакс его принимает свое максимальное значение и называется в этом случае *суточным горизонтальным параллаксом* p.

Суточный параллакс p' и суточный горизонтальный параллакс p связаны между собой простым соотношением

$$p' = p \sin z,$$

где z — зенитное расстояние светила.

Суточный горизонтальный параллакс светила для точек, лежащих на экваторе, т. е. для экваториальных радиусов Земли, называется *горизонтальным экваториальным параллаксом* светила p_0.

Горизонтальный экваториальный параллакс p_0 связан с суточным горизонтальным параллаксом p соотношением

$$p_0 = p \frac{a}{\rho},$$

где a — экваториальный радиус Земли, а ρ — радиус Земли в месте наблюдения.

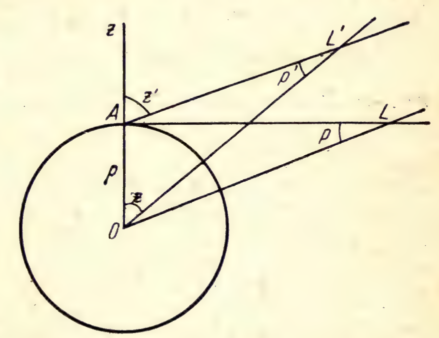


Рис. 12. Суточный горизонтальный параллакс.

Горизонтальные топоцентрические координаты светила z' и A' вычисляются по его геоцентрическим координатам z и A по формулам

$$\left.\begin{aligned} z' - z &= p_0 \frac{\rho}{a} \sin [z' - (\varphi - \varphi') \cos A'], \\ A' - A &= \frac{p_0 \frac{\rho}{a} \sin (\varphi - \varphi') \sin A'}{\sin z'}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.41)$$

При малых значениях p_0 в правых частях этих формул можно, без потери точности, вместо z' и A' поставить z и A. Кроме того, влияние суточного параллакса на азимут светила очень незначительно и на практике им пренебрегают.

Экваториальные топоцентрические координаты светила t', α' и δ' определяются из его геоцентрических экваториальных координат t, α и δ по формулам

$$\left.\begin{aligned} t' - t = \alpha - \alpha' &= p_0 \frac{\rho}{a} \cos \varphi' \sin t \sec \delta, \\ \delta - \delta' &= p_0 \frac{\rho}{a} (\sin \varphi' \cos \delta - \cos \varphi' \sin \delta \cos t). \end{aligned}\right\} \qquad (1.42)$$

При этом $t' + \alpha' = t + \alpha = s$, где s — местное звездное время.

Для большинства тел Солнечной системы горизонтальный экваториальный параллакс меньше 30″ (для Солнца, например, $p_0 = 8'',8$) и только для Луны он может достигать 62′. Поэтому любителю на практике пользоваться формулами (1.41) и (1.42), т. е. делать различие между топоцентрическими и геоцентрическими координатами, придется только в случае Луны. При этом надо иметь в виду, что горизонтальный параллакс Луны в переменной части АК ВАГО не дается, но его легко получить, умножая видимый угловой радиус Луны r на 3,67 (r приводится в последней колонке лунных эфемерид).

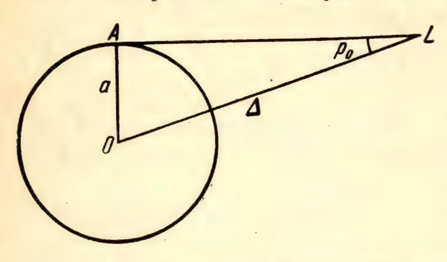


Рис. 13. Горизонтальный экваториальный параллакс.

Знание горизонтального экваториального параллакса светила позволяет легко определить расстояние от центра Земли до светила. Действительно, если на рис. 13 OA есть экваториальный радиус Земли a, OL есть расстояние от центра Земли до светила, равное Δ, а угол ALO есть горизонтальный экваториальный параллакс светила p_0, то из прямоугольного треугольника OAL имеем

$$\Delta = \frac{a}{\sin p_0}. \qquad (1.43)$$

Так как угол p_0 мал, то

$$\sin p_0 = p_0'' \sin 1'' = p_0'' \frac{1}{206\,265}$$

и формула (1.43) принимает вид

$$\Delta = \frac{206\,265'' a}{p_0''}. \qquad (1.44)$$

Расстояние Δ по формулам (1.43) и (1.44) получается в тех же единицах, в которых выражен экваториальный радиус Земли a.

Если принять горизонтальный экваториальный параллакс Солнца равным 8″,794, то расстояние Солнца от Земли будет равно 149 600 000 *км*. Это расстояние в астрономии называется *астрономической единицей* (а. е.).

Вследствие огромных расстояний от Земли до звезд, горизонтальные экваториальные параллаксы последних исчезающе малы, и расстояния до них определяют с помощью годичных параллаксов. *Годичным параллаксом* звезды π называется угол, под которым со звезды был бы виден средний радиус земной орбиты при условии, что направление на звезду перпендикулярно к радиусу (рис. 14).

Годичные параллаксы звезд меньше 1″. Поэтому влияние годичного параллакса на координаты звезд учитывается только при высокоточных наблюдениях и исследованиях.

Пренебрегая широтой Солнца и эксцентриситетом земной орбиты, влияние годичного параллакса приближенно можно вычислить по формулам

$$\left.\begin{aligned} \beta' - \beta &= \pi \sin\beta \cos(L_{\odot} - \lambda), \\ (\lambda' - \lambda)\cos\beta &= \pi \sin(L_{\odot} - \lambda), \end{aligned}\right\} \quad (1.45)$$

или

$$\left.\begin{aligned} (\alpha' - \alpha)\cos\delta &= \pi \cos D_{\odot} \sin(A_{\odot} - \alpha), \\ (\delta' - \delta) &= \pi[\cos\delta \sin D_{\odot} - \sin\delta \cos D_{\odot} \cos(A_{\odot} - \alpha)], \end{aligned}\right\} \quad (1.46)$$

где λ' β', α' и δ' — геоцентрические координаты звезды, λ, β, α и δ — гелиоцентрические координаты, $L_{\odot}$ — долгота Солнца, $A_{\odot}$, $D_{\odot}$ — прямое восхождение и склонение Солнца.

Если на рис. 14 ST есть средний радиус земной орбиты, т. е. астрономическая единица (а. е.), σS — расстояние D звезды от Солнца, а угол $S\sigma T$ — годичный параллакс звезды π, то из прямоугольного треугольника $ST\sigma$ имеем

$$D = \frac{\text{а. е.}}{\sin\pi} \quad (1.47)$$

и так как угол π мал, то

$$D = \frac{206\,265''\ \text{а. е.}}{\pi''}. \quad (1.48)$$

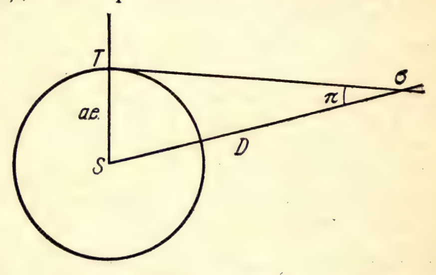


Рис. 14. Годичный параллакс звезд.

Расстояние по формулам (1.47) и (1.48) получается в тех же единицах, в которых выражена астрономическая единица.

Расстояние, соответствующее годичному параллаксу в 1″, называется *парсеком* (*пс*). Из формулы (1.48) следует, что

$$1\ \textit{пс} = 206\,265\ \text{а. е.} = 3{,}086 \cdot 10^{13}\ \textit{км}.$$

Если D выражается в парсеках, то формула (1.48) принимает вид

$$D = \frac{1}{\pi''}. \quad (1.49)$$

Расстояние, составляющее 1000 парсек, называется *килопарсеком*, а расстояние в 1 000 000 парсек — *мегапарсеком*.

Расстояние, которое свет проходит за один год, распространяясь со скоростью около 300 000 *км/сек*, называется ***световым годом***, 1 световой год $= 9{,}46 \cdot 10^{12}$ *км* = 63 240 а. е. = 0,3067 *пс*. Так как 1 *пс* = 3,26 светового года, то расстояние $D = \frac{3{,}26}{\pi''}$ световых лет.

§ 10. Рефракция

Астрономической *рефракцией* называется явление преломления световых лучей, идущих от светила к наблюдателю, при прохождении ими земной атмосферы.

Вследствие рефракции наблюдатель видит светило по направлению $A\sigma_1$ (рис. 15), а не по направлению $A\sigma_2$, параллельному $M\sigma$, по которому он видел бы светило в случае отсутствия атмосферы.

Угол $\sigma_1 A \sigma_2$ называется углом рефракции ρ или просто рефракцией. Угол $ZA\sigma_1$ называется видимым зенитным расстоянием светила z', а угол $ZA\sigma_2$ — истинным зенитным расстоянием z; тогда

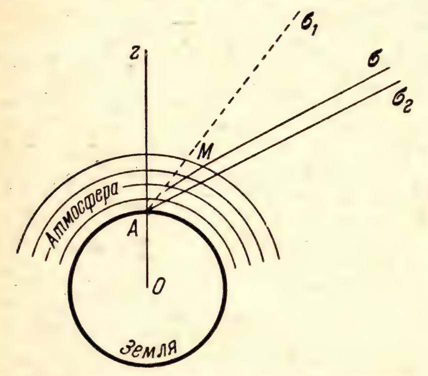


Рис. 15. Влияние атмосферной рефракции на видимое положение светила на небе.

$$z - z' = \rho,$$

$$z = z' + \rho,$$

т. е. истинное зенитное расстояние равно видимому зенитному расстоянию плюс рефракция.

Величина рефракции зависит от видимого зенитного расстояния z' и меняется в зависимости главным образом от температуры и давления, увеличиваясь с понижением температуры и с повышением давления.

Величину рефракции при температуре 0° С и при давлении 760 *мм* можно приближенно вычислить по формуле

$$\rho = 60'',25 \operatorname{tg} z'.$$

Эта формула пригодна для зенитных расстояний до 70°. В зените рефракция равна нулю, а в горизонте принимается в среднем равной 35′.

В отделе «Таблицы» дана табл. 18а средней рефракции при температуре + 10° С и давлении 760 *мм*, а также табл. 18б для вычисления поправки за температуру и давление, пригодная для температур от +20 до —20° С.

Замечание. Помимо рефракции, влияние земной атмосферы сказывается также в поглощении света, идущего от небесных тел; поглощение зависит от толщины слоя атмосферы, проходимого лучом света, и изменяется в зависимости от зенитного расстояния светила. В отделе «Таблицы» дана табл. 19 средних величин поглощения света E, в звездных величинах, для различных зенитных расстояний. В зависимости от атмосферных условий места наблюдения величина E может значительно колебаться.

§ 11. Прецессия и нутация

Вследствие возмущающего действия, оказываемого на вращение Земли телами Солнечной системы (см. § 17), ось вращения Земли совершает в пространстве очень сложное движение. Прежде всего, она медленно описывает конус, оставаясь все время наклоненной к плоскости движения Земли под углом около 66°,5 (рис. 16). Это движение земной оси называется *прецессионным*, период его около 26 000 лет, и оно определяет среднее направление оси в пространстве в различные эпохи. Кроме того, ось вращения Земли совершает различные мелкие колебания около своего среднего положения, главные из которых имеют период 18,6 года *) и называются *нутацией* земной оси.

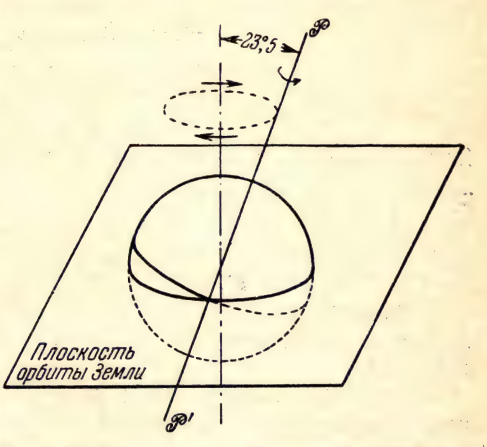


Рис. 16. Прецессионное движение земной оси.

Вследствие прецессии и нутации земной оси взаимное расположение полюсов мира и полюсов эклиптики, а следовательно, небесного экватора и эклиптики, непрерывно изменяется. Полюс мира, определяемый средним направлением оси вращения Земли, т. е. обладающий только прецессионным движением, называется *средним полюсом мира. Истинным полюсом мира* называется полюс, определяемый действительным направлением земной оси, т. е. обладающий и прецессионным и нутационным движением.

Средний полюс мира какой-нибудь эпохи определяет положение *среднего экватора* и *средней точки весеннего равноденствия* для этой же эпохи. Истинный полюс мира определяет положение *истинного экватора* и *истинной точки весеннего равноденствия.*

Средний полюс мира вследствие прецессии за 26 000 лет описывает около полюса эклиптики окружность радиусом 23°,5. За один год перемещение среднего полюса мира на небесной сфере составляет около 50″,3. На такую же величину за год перемещаются по эклиптике и равноденственные точки, двигаясь с востока на запад, т. е. навстречу видимому годичному движению Солнца. Это явление и называется *прецессией*, или *предварением равноденствий*, так как Солнце попадает в равноденственные точки раньше, чем на то же самое место среди звезд.

---

*) Этот период равен периоду обращения узлов лунной орбиты, так как нутация есть следствие действия притяжения Луны на земной сфероид.

Прецессионное движение полюса мира вызывает изменение координат звезд с течением времени.

В эклиптической системе координат в результате прецессии астрономические долготы всех звезд непрерывно возрастают (на 50″,3 в год), так как они отсчитываются от точки весеннего равноденствия в сторону, противоположную движению этой точки по эклиптике.

Астрономические широты звезд не изменяются.

Влияние прецессии на прямые восхождения и склонения звезд выражается формулами

$$\left.\begin{aligned}\frac{d\alpha}{dt} &= m + n \sin\alpha \operatorname{tg}\delta,\\ \frac{d\delta}{dt} &= n\cos\alpha.\end{aligned}\right\} \qquad (1.50)$$

Здесь $\frac{d\alpha}{dt}$ и $\frac{d\delta}{dt}$ — изменения координат за год, m — годичная прецессия по прямому восхождению, n — годичная прецессия по склонению. Величины m и n с течением времени изменяются очень медленно и их можно считать постоянными (для 2000 г. $m = 3^s{,}0742$; $n = 1^s{,}3359 = 20''{,}038$).

Значения средних годичных изменений экваториальных координат α и δ в результате прецессии даны в отделе «Таблицы», табл. 27.

Истинный полюс мира описывает вокруг среднего полюса сложную кривую. Движение его на небесной сфере совершается приблизительно по эллипсу, большая ось которого равна 18″,4, а малая — 13″,7. Истинный полюс мира движется по эллипсу в направлении против движения часовой стрелки, если смотреть на небесную сферу изнутри, и совершает один оборот за 18,6 года. Это движение истинного полюса мира вокруг среднего и называется *нутацией*.

Влияние нутации на прямые восхождения и склонения звезд выражается формулами

$$\left.\begin{aligned}\alpha - \alpha_0 &= \Delta\psi(\cos\varepsilon + \sin\varepsilon\sin\alpha_0 \operatorname{tg}\delta_0) - \Delta\varepsilon\cos\alpha_0 \operatorname{tg}\delta_0,\\ \delta - \delta_0 &= \Delta\psi\sin\varepsilon\cos\alpha_0 + \Delta\varepsilon\sin\alpha,\end{aligned}\right\} \qquad (1.51)$$

где α_0 и δ_0 — координаты звезды относительно среднего экватора,

α и δ — координаты звезды относительно истинного экватора,

$\Delta\psi$ — долгопериодические члены нутации в долготе, меняющиеся в пределах $\pm 18''$,

$\Delta\varepsilon$ — долгопериодические члены нутации в наклонении, меняющиеся в пределах $\pm 10''$,

ε — наклонение эклиптики к экватору.

Влияние нутации на астрономические долготы светил сводится к тому, что истинная точка весеннего равноденствия, перемещаясь по эклиптике от средней точки весеннего равноден-

ствия на дугу $\Delta\psi$ (нутация в долготе), изменяет астрономические долготы светил на такую же величину, т. е.

$$\lambda - \lambda_0 = \Delta\psi,$$

где λ_0 — долгота, отсчитанная от средней точки весеннего равноденствия, λ — долгота от истинной точки весеннего равноденствия.

§ 12. Аберрация

Аберрацией называется явление, состоящее в том, что движущийся наблюдатель видит светило не в том направлении, в котором он видел бы его в тот же момент, если бы находился в покое.

Аберрацией называется также и сама разность между наблюдаемым, *видимым* направлением от наблюдателя к светилу и *истинным*, т. е. тем, какое было бы в тот же момент, если бы наблюдатель был неподвижен.

Пусть в точке K (рис. 17) находится наблюдатель и крест нитей окуляра инструмента, а в точке O — объектив инструмента. Наблюдатель движется по направлению KA со скоростью v. Луч света от звезды σ встречает середину объектива инструмента в точке O и, распространяясь со скоростью c, за время τ пройдет расстояние $OK = c\tau$ и попадет в точку K. Но изображение звезды на крест нитей не попадет, потому что за это же время τ наблюдатель и крест нитей переместятся на величину $KK_1 = v\tau$ и окажутся в точке K_1. Для того чтобы изображение звезды попало на крест нитей окуляра, надо инструмент установить не по истинному направлению на звезду $K\sigma$, а по направлению K_0O и так, чтобы крест нитей находился в точке K_0 отрезка $K_0K = KK_1 = v\tau$.

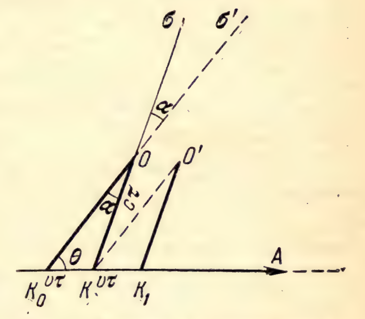


Рис. 17. Влияние аберрации света на видимое положение светила на небе.

Следовательно, видимое направление на звезду $K_0\sigma'$ должно составить с истинным направлением $K\sigma$ угол α, который и называется *аберрационным смещением* звезды. Из треугольника K_0OK следует:

$$\left.\begin{aligned} \sin\alpha &= \frac{v}{c}\sin\theta, \\ \alpha'' &= 206\,265\,\frac{v}{c}\sin\theta, \end{aligned}\right\} \quad (1.52)$$

где θ — угловое расстояние видимого направления на звезду от апекса движения наблюдателя, т. е. от точки, в которую направлена скорость движения наблюдателя.

Наблюдатель, находящийся на поверхности Земли, участвует в двух ее основных движениях: 1) в суточном вращении вокруг оси и 2) в годичном движении Земли вокруг Солнца. Поэтому различают *суточную* и *годичную аберрации*.

а) Суточная аберрация. Скорость суточного вращения наблюдателя

$$v = v_0 \cos \varphi',$$

где v_0 — скорость наблюдателя, находящегося на экваторе, а φ' — геоцентрическая широта наблюдателя. Смещение светила вследствие суточной аберрации согласно формуле (1.52) будет:

$$\sin \alpha = \frac{v_0 \cos \varphi'}{c} \sin \theta, \tag{1.53}$$

где θ — угловое расстояние по дуге большого круга от видимого положения звезды до точки востока, так как суточное вращение Земли происходит с запада на восток и движение наблюдателя, следовательно, направлено также на восток. Если в формулу (1.53) подставить числовые значения $v_0 = 0{,}464$ *км/сек* и $c = 3 \cdot 10^5$ *км/сек*, то получим

$$\alpha'' = 0'',319 \cos \varphi' \sin \theta,$$

или

$$\alpha^s = 0^s,021 \cos \varphi' \sin \theta.$$

Число $k' = 0'',319 = 0^s,021$ называется *коэффициентом* суточной аберрации.

Влияние суточной аберрации на координаты светил можно вычислить по формулам:

$$\left.\begin{aligned} z' - z &= -k' \cos \varphi' \cos z \sin A, \\ A' - A &= -k' \cos \varphi' \cos A \operatorname{cosec} z, \\ \delta' - \delta &= k' \cos \varphi' \sin \delta \sin t, \\ t - t' = \alpha' - \alpha &= k' \cos \varphi' \cos t \sec \delta. \end{aligned}\right\} \tag{1.54}$$

Здесь z, A, δ, t и α — истинные координаты, а z', A', δ', t' и α' — видимые. Так как коэффициент суточной аберрации k' мал, то в правых частях формул (1.54) вместо геоцентрической широты φ' можно взять астрономическую широту φ и вместо истинных координат — видимые.

б) Годичная аберрация. Скорость годичного движения наблюдателя есть скорость движения Земли по орбите. Если средняя скорость движения Земли на орбите $v_{ср} = 29{,}77$ *км/сек*, то смещение светила вследствие годичной аберрации согласно формуле (1.52) будет:

$$\alpha'' = \frac{206\,265'' \cdot 29{,}78}{3 \cdot 10^5} \sin \theta$$

или

$$\alpha'' = 20'',50 \sin \theta.$$

Число $k_0 = 20'',50$ называется *постоянной* аберрации.

Если $\theta = 90^\circ$ (звезда находится в полюсе эклиптики), то

$$\alpha'' = 20'',50,$$

и так как апекс движения наблюдателя перемещается за год по эклиптике на 360°, то звезда, находящаяся в полюсе эклиптики, описывает в течение года около своего истинного положения круг с радиусом $20'',50$. Все другие звезды описывают эллипсы с полуосями $20'',50$ и $20'',50 \sin\beta$, где β — эклиптическая широта звезды. Для звезд, находящихся в плоскости эклиптики ($\beta = 0$), эллипс обращается в отрезок дуги длиной $41'',00$.

Влияние годичной аберрации на эклиптические координаты светил можно вычислить по формулам

$$\left.\begin{aligned} \beta' - \beta &= -k_0 \sin(L_\odot - \lambda)\sin\beta, \\ \lambda' - \lambda &= -k_0 \cos(L_\odot - \lambda)\sec\beta, \end{aligned}\right\} \qquad (1.55)$$

где β и λ — истинные координаты, β' и λ' — видимые координаты, $L_\odot$ — долгота Солнца. Так как постоянная аберрации k_0 мала, то в правых частях формул (1.55) вместо истинных координат можно брать видимые.

Влияние годичной аберрации на прямые восхождения и склонения звезд выражается следующими формулами:

$$\left.\begin{aligned} \alpha' - \alpha &= -k_0(\sin\alpha\sin L_\odot + \cos\alpha\cos L_\odot\cos\varepsilon)\sec\delta + \\ &\quad + k_0 e(\sin\alpha\sin\omega + \cos\alpha\cos\omega\cos\varepsilon)\sec\delta, \\ \delta' - \delta &= -k_0\sin L_\odot\cos\alpha\sin\delta - \\ &\quad - k_0\cos L_\odot\cos\varepsilon(\operatorname{tg}\varepsilon\cos\delta - \sin\alpha\sin\delta) + \\ &\quad + k_0 e[\sin\omega\cos\alpha\sin\delta + \cos\omega\cos\varepsilon(\operatorname{tg}\varepsilon\cos\delta - \sin\alpha\sin\delta)], \end{aligned}\right\} (1.56)$$

где α и δ — истинные координаты светила, α' и δ' — видимые координаты светила, $L_\odot$ — долгота Солнца, ω — долгота перигелия (см. § 16), ε — наклонение эклиптики к экватору, e — эксцентриситет земной орбиты ($k_0 e = 0'',34$).

Для практических вычислений формулам (1.56) придают следующий сокращенный вид (без членов с e):

$$\left.\begin{aligned} \alpha' - \alpha &= Cc + Dd, \\ \delta' - \delta &= Cc' + Dd', \end{aligned}\right\} \qquad (1.57)$$

где $C = -k_0 \cos L_\odot \cos\varepsilon$ и $D = -k_0 \sin L_\odot$ зависят только от долготы Солнца, а

$$c = \frac{1}{15}\cos\alpha\sec\delta, \quad d = \frac{1}{15}\sin\alpha\sec\delta;$$

$$c' = \operatorname{tg}\varepsilon\cos\delta - \sin\alpha\sin\delta, \quad d' = \cos\alpha\sin\delta$$

зависят только от координат светила.

Кроме того, если в формулах (1.57) положить

$$C = h\sin H, \quad D = h\cos H, \quad i = C\operatorname{tg}\varepsilon,$$

то им можно придать еще следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} \alpha' - \alpha &= \frac{1}{15} h \sin(H+\alpha)\sec\delta, \\ \delta' - \delta &= h\cos(H+\alpha)\sin\delta + i\cos\delta. \end{aligned}\right\} \quad (1.58)$$

§ 13. Видимые, истинные и средние координаты светил

Координаты светила, полученные непосредственно из наблюдений, исправленных за инструментальные ошибки и рефракцию, называются *видимыми* координатами (α', δ') светила в момент наблюдения t.

Если из видимых координат исключить влияние суточной и годичной аберраций (см. § 12), то мы получим *истинные* координаты (α, δ) светила в момент наблюдения t.

Если из истинных координат исключить влияние нутации (см. § 11), то мы получим *средние* координаты (α_0, δ_0) светила в момент наблюдения t.

Средние координаты звезд, полученные для момента наблюдений t, можно затем перевести на начало какого-нибудь года T, учитывая влияние прецессии (см. § 11) за время $(T-t)$.

В звездных каталогах даются именно средние координаты звезд для начала какого-либо года, которое называется *равноденствием каталога*. В отделе «Таблицы», в табл. 28 а приведены средние места 695 звезд для равноденствия 1975,0.

а) Приведение средних координат светила (α_0, δ_0), данных для начала года T, к истинным координатам (α, δ) для заданного момента t.

Для решения этой задачи необходимо учесть по формулам (1.50) влияние прецессии за время $\tau = t - T$ и влияние нутации по формулам (1.51).

На практике обычно пользуются следующими формулами:

$$\left.\begin{aligned} \alpha - \alpha_0 &= Aa + Bb + E, \\ \delta - \delta_0 &= Aa' + Bb', \end{aligned}\right\} \quad (1.59)$$

полученными из формул (1.50) и (1.51) при следующих обозначениях:

$$A = \tau n + \Delta\psi\sin\varepsilon, \qquad a = \frac{m^s}{n^s} + \sin\alpha_0 \operatorname{tg}\delta_0,$$

$$B = -\Delta\varepsilon, \qquad b = \frac{1}{15}\cos\alpha_0 \operatorname{tg}\delta_0,$$

$$E = \Delta\psi\left(\cos\varepsilon - \frac{m}{n}\sin\varepsilon\right), \qquad a' = \cos\alpha_0,$$

$$b' = -\sin\alpha_0.$$

Часто пользуются также формулами, выраженными в тригонометрической форме, а именно:

$$\left.\begin{aligned} \alpha - \alpha_0 &= f^s + \frac{1}{15} g \sin(G + \alpha_0) \operatorname{tg} \delta_0, \\ \delta - \delta_0 &= g \cos(G + \alpha_0), \end{aligned}\right\} \qquad (1.60)$$

где

$$\begin{aligned} f^s &= m^s \tau + \Delta\psi \cos\varepsilon = \frac{m}{n} A + E^s, \\ g \sin G &= -\Delta\varepsilon'' = B'', \\ g \cos G &= n'' \tau + \Delta\psi'' \sin\varepsilon = A. \end{aligned}$$

б) Приведение средних координат светила (α_0, δ_0), данных для начала года T, к видимым координатам (α', δ') для заданного момента t.

Для решения этой задачи, кроме влияния прецессии за время $\tau = t - T$ и влияния нутации [см. формулу (1.59) или (1.60)], необходимо также учесть по формулам (1.57) или (1.58) влияние годичной аберрации. В результате мы будем иметь следующие формулы:

$$\left.\begin{aligned} \alpha' - \alpha_0 &= Aa + Bb + Cc + Dd + E, \\ \delta' - \delta_0 &= Aa' + Bb' + Cc' + Dd', \end{aligned}\right\} \qquad (1.61)$$

где A, B, E, a, b, a', b' имеют те же значения, что и в формулах (1.59), C, D, c, d, c', d' имеют те же значения, что и в формулах (1.57), если вместо истинных координат α и δ поставить средние координаты α_0 и δ_0.

В тригонометрической форме приведение средних координат к видимым производится по формулам

$$\left.\begin{aligned} \alpha' - \alpha_0 &= f^s + \frac{1}{15} g \sin(G + \alpha_0) \operatorname{tg} \delta_0 + \frac{1}{15} h \sin(H + \alpha_0) \sec \delta_0, \\ \delta' - \delta_0 &= g \cos(G + \alpha_0) + h \cos(H + \alpha_0) \sin \delta_0 + i \cos \delta_0, \end{aligned}\right\} \qquad (1.62)$$

где f, $g \sin G$, $g \cos G$ имеют те же значения, что и в формулах (1.60), а $h \sin H$, $h \cos H$ и i — значения в формулах (1.58). Величины A, B, C, D, E, a, b, c, d, a', b', c', d' называются *бесселевыми числами*, а формулы (1.61) — *бесселевыми формулами*.

Значения B, C, D даются в астрономических ежегодниках и в Переменной части АК ВАГО в дуговых секундах, E — в секундах часовой меры, а A — в тропических годах. Все эти величины от координат светила не зависят. Малые бесселевы числа (a, b, c, d, a', b', c', d'), наоборот, зависят главным образом от координат светила.

В отделе «Таблицы», в табл. 28а помещены малые бесселевы числа для всех звезд, средние места которых даны в этой таблице. В Переменной части АК ВАГО для нахождения видимых

координат звезд даются также редукционные величины G, H, g, h, i и f через каждые десять суток.

Кроме прецессии, нутации и аберрации, на изменение координат звезды влияют также ее годичный параллакс и собственное движение. Но эти влияния весьма незначительны, и любителю учитывать их вряд ли придется.

В случае необходимости учета влияния годичного параллакса следует пользоваться формулами (1.45) или (1.46).

Если необходимо учесть влияние собственного движения звезды, то к формулам (1.61) или (1.62) следует добавить члены

$$+\mu_\alpha^s\tau \quad \text{и} \quad +\mu_\delta''\tau,$$

где μ_α^s — собственное движение звезды по прямому восхождению, а μ_δ'' — то же по склонению.

§ 14. Вычисление моментов восхода, захода и кульминации светил; сумерки

а) Восход и заход светил. Момент пересечения светилом математического горизонта, когда оно переходит из невидимой части небесной сферы в видимую, называется *восходом* светила, а когда оно переходит из видимой части в невидимую — *заходом*.

Часовой угол t восхода и захода определяется по формуле

$$\cos t = \frac{\cos(90° + \rho + R - p) - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta}, \qquad (1.63)$$

где ρ — рефракция в горизонте, принимаемая обычно равной 35′, R — радиус светила, p — суточный горизонтальный параллакс.

По формуле (1.63) часовые углы восхода и захода вычисляются только для Луны. В этом случае $R = 16'$, $p = 58'$, $\rho = 35'$ и формула (1.63) принимает вид

$$\cos t = \frac{\sin 7' - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta}. \qquad (1.64)$$

В случае вычисления часовых углов восхода и захода Солнца ($R = 16'$ и $\rho = 35'$) суточный горизонтальный параллакс не учитывается и формула (1.63) принимает вид

$$\cos t = \frac{-\sin 51' - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta}. \qquad (1.65)$$

В случае звезд и планет можно пренебречь также и их радиусами и вычислять часовой угол восхода и захода по формуле

$$\cos t = \frac{-\sin 35' - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta}. \qquad (1.66)$$

Наконец, если пренебречь и рефракцией, то часовой угол восхода и захода светила вычисляется по формуле

$$\cos t = -\operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta. \tag{1.67}$$

Каждое из вышеприведенных уравнений дает два значения для t: одно значение, лежащее в пределах от 0 до 180°, — для часового угла захода t_W, другое значение, лежащее в пределах от 180 до 360°, — для часового угла восхода t_E.

Вычислив t_W или t_E, можно определить моменты захода или восхода светила по местному звездному времени по формулам

$$\left.\begin{aligned} s_W &= \alpha_W + t_W, \\ s_E &= \alpha_E + t_E, \end{aligned}\right\} \tag{1.68}$$

где α_W и α_E — прямые восхождения светила в моменты захода и восхода светила.

Затем эти звездные времена по правилу, изложенному в § 4, можно перевести в местное среднее солнечное время, а по формулам § 5 найти моменты восхода и захода в любой системе счета времени.

При вычислении моментов восхода и захода Солнца, если нет необходимости знать их в системе звездного времени, часовые углы t_E или t_W, увеличенные на 12^h, дают нам моменты этих явлений в системе местного истинного солнечного времени [см. формулу (1.12), § 4], от которой легко перейти к другим системам счета времени.

Если координаты светила в течение суток изменяются заметным образом (как, например, у Луны), то t_W и t_E надо вычислять с тем значением склонения, которое светило имеет при своем заходе и восходе.

Обычно поступают следующим образом: по формулам (1.67) и (1.68) вычисляют приближенные моменты захода и восхода светила, беря его координаты из календаря, например, для полудня или для момента верхней кульминации. Затем находят координаты светила для этих приближенных моментов и с ними, по соответствующим формулам, вычисляют окончательные моменты захода и восхода светила.

У всех светил, кроме Луны, изменением склонения в течение суток можно пренебречь.

Азимут светила при восходе и заходе, с учетом рефракции, радиуса и параллакса светила, вычисляется по формуле

$$\sin A = \frac{\cos\delta \sin t}{\sin(90° + \rho + R - p)}; \tag{1.69}$$

при этом t вычисляется по формуле (1.67), A находится в одном с ним квадранте.

В Переменной части АКВАГО в эфемеридах Солнца, Луны и планет даются моменты восхода, захода и азимуты в эти

моменты для пункта с географическими координатами $\varphi = +56^\circ$ и $\lambda = 0^\circ$. Моменты даются по всемирному времени. Получение соответствующих величин для пункта с другими географическими координатами производится с помощью интерполяционных вычислений (см. объяснение к эфемеридам в Переменной части АК ВАГО).

б) Кульминация светил. Момент пересечения светилом небесного меридиана называется *кульминацией светила*. Различают кульминации верхнюю и нижнюю. *Верхняя кульминация* имеет место на верхней части небесного меридиана, $\mathcal{P}ZAS\mathcal{P}'$ (см. рис. 4), при этом светило достигает максимальной высоты над горизонтом и минимального зенитного расстояния. *Нижняя кульминация* совершается на нижней части небесного меридиана $\mathcal{P}NA'Z'\mathcal{P}'$, при этом светило достигает минимальной высоты над горизонтом и максимального зенитного расстояния.

Верхняя кульминация может быть к северу от зенита (на дуге ZP) и к югу от зенита (на дуге $ZAS\mathcal{P}'$).

В момент верхней кульминации светила к югу от зенита имеем

$$\left.\begin{aligned} z &= \varphi - \delta, \\ h &= 90^\circ - \varphi + \delta; \end{aligned}\right\} \qquad (1.70)$$

в момент верхней кульминации к северу от зенита

$$\left.\begin{aligned} z &= \delta - \varphi, \\ h &= 90^\circ + \varphi - \delta; \end{aligned}\right\} \qquad (1.71)$$

в момент нижней кульминации светила

$$\left.\begin{aligned} z &= 180^\circ - \varphi - \delta, \\ h &= \varphi + \delta - 90^\circ. \end{aligned}\right\} \qquad (1.72)$$

В момент верхней кульминации светила на каком-нибудь меридиане местное звездное время на этом меридиане равно прямому восхождению светила, т. е.

$$s = \alpha; \qquad (1.73)$$

в момент нижней кульминации

$$s = \alpha + 12^{\mathrm{h}}. \qquad (1.74)$$

Зная местное звездное время кульминации светила, по правилу § 4 легко вычислить местное среднее солнечное время его кульминации, а по формулам § 5 выразить этот момент в любой системе счета времени.

В Переменной части АК ВАГО моменты верхних кульминаций Луны и планет даны по всемирному времени, т. е. для меридиана Гринвича. Определение моментов кульминаций этих светил, а также моментов верхних кульминаций Солнца на других меридианах производится путем интерполяционных вы-

числений (см. объяснения к эфемеридам в Переменной части АК ВАГО).

в) Сумерки. Часть суток после захода Солнца называется *вечерними сумерками*, а перед его восходом — *утренними сумерками.* Различают сумерки *гражданские* и *астрономические.*

Вечерние гражданские сумерки начинаются в момент захода Солнца и продолжаются до тех пор, пока высота центра диска Солнца не станет равной $h_{\odot} = -6^{\circ}$. Утренние гражданские сумерки начинаются перед восходом Солнца, когда высота его центра $h_{\odot} = -6^{\circ}$, и кончаются в момент восхода Солнца.

Астрономические сумерки (утренние и вечерние) длятся дольше, так как за их начало или конец принимается тот момент, когда высота центра Солнца $h_{\odot} = -18^{\circ}$.

Когда кончаются вечерние гражданские сумерки, то приходится прибегать к искусственному освещению; на небе видны лишь наиболее яркие звезды. В конце вечерних астрономических сумерек исчезают последние следы вечерней зари, наступает ночь, а на небе видны уже и более слабые звезды.

Продолжительность сумерек τ зависит от географической широты места φ и от склонения Солнца $\delta_{\odot}$ и вычисляется по формуле

$$\cos(t+\tau) = \frac{\sin h_{\odot} - \sin\varphi \sin\delta_{\odot}}{\cos\varphi \cos\delta_{\odot}}, \qquad (1.75)$$

где высота центра Солнца $h_{\odot} = -6^{\circ}$ для гражданских и $h_{\odot} = -18^{\circ}$ для астрономических сумерек, а часовой угол t, восхода или захода Солнца, находится по формуле (1.65).

Гражданские сумерки могут длиться от захода до восхода Солнца (вечерние сумерки сразу же переходят в утренние) севернее географической широты 60°,5.

Астрономические сумерки могут длиться от захода до восхода Солнца, севернее географической широты 48°,5.

Для приближенного определения продолжительности гражданских и астрономических сумерек в отделе «Таблицы» даны табл. 23 и 24.

§ 15. Физические координаты Солнца, Луны и планет

Для астрофизических наблюдений поверхности Солнца, Луны и некоторых планет требуется знание величин, которые определяют ориентировку данного небесного тела по отношению к наблюдателю и его вид в телескоп. Эти величины носят название *физических координат.*

Для определения положения деталей на диске Солнца, Луны, Марса и Юпитера служат специальные системы координат, подобные географической. Иногда такие системы координат по аналогии с географической системой называют *ареографиче-*

ской (от греческого имени Арес—бога войны Марса), *йовиографической* (от латинского Jovis — родительный падеж от слова Юпитер), *селенографической* (Селена — богиня Луны), *гелиографической* (Гелиос — бог Солнца). Счет широт в этих системах ведется, как всегда, от экватора (к северу положительные, к югу отрицательные), а счет долгот — от некоторого меридиана, принятого за начальный.

Таким меридианом для Солнца считается меридиан Кэррингтона, который 1 января 1854 г. в 0^h всемирного времени прошел через восходящий узел солнечного экватора *). Период полного сидерического оборота для него принят равным 25,38 средних суток. Для земного наблюдателя промежуток времени между двумя прохождениями меридиана Кэррингтона через центр видимого диска Солнца (синодический оборот) равен 27,28 средних суток. Счет долгот ведется в направлении вращения Солнца, т. е. к западу.

Для Луны начальным меридианом считается тот, который проходит через видимый из центра Земли центр лунного диска, когда Луна находится одновременно на линии узлов и на линии апсид своей орбиты. Хотя Луна обращена к Земле одной стороной, вследствие либрации и параллакса положение начального меридиана может отклоняться от центрального на угол до 7°. Счет долгот на Луне ведется в обе стороны: к востоку — долготы положительные, к западу — отрицательные.

До 1961 г. восток и запад на Луне считались по земным странам света, т. е. западной половиной на лунном диске считалась правая (для невооруженного глаза). Космические полеты к Луне потребовали пересмотра этой системы. В настоящее время направление к востоку считается в сторону вращения Луны (т. е. к Морю Кризисов), к западу — в противоположную сторону (к Океану Бурь).

За начальный меридиан Марса принят меридиан, проходящий через Центральный залив (Sinus Meridiani). Для уточнения счета долгот на диске Марса принято считать, что в 0 час. 15 января 1905 г. долгота центрального меридиана была $L_0 = 344°{,}41$.

Юпитер имеет две условные системы счета долгот, рассчитанные на периоды вращения экваториальной зоны (I система) и средних широт (II система). Период вращения I системы составляет $9^h 50^m 30^s{,}0$, II системы — $9^h 55^m 40^s{,}6$.

В отличие от Солнца, долготы Марса и Юпитера отсчитываются к востоку, т. е. навстречу их вращению. Впрочем,

---

*) Понятие восходящего узла для солнечного экватора имеет тот же смысл, что и для орбит планет и комет (стр. 62—63), так как можно представить себе, что экватор Солнца — это орбита, описываемая некоторой его точкой.

для Марса введена еще одна система отсчета долгот, применяемая в космонавтике: в ней счет долгот ведется в сторону вращения планеты (как и на Земле). В Астрономическом Календаре, как и в других астрономических ежегодниках, принята пока первая (астрономическая) система долгот.

Начало радиолокационного картографирования Венеры потребовало установления системы счета долгот и для нее. Координаты проекции северного полюса Венеры на небесную сферу приняты равными: $\alpha = 273^\circ{,}0$, $\delta = +66^\circ{,}0$ (1950,0); сидерический (звездный) период вращения 243,0 суток, направление вращения обратное. Нулевым меридианом считается центральный меридиан Венеры, который был виден из центра Земли в 0 час. 20 июня 1964 г. (по всемирному времени). Счет долгот идет от 0° до 360° навстречу вращению так, чтобы в ходе вращения долгота центрального меридиана возрастала.

Введена система планетографических координат и для Меркурия. Период вращения планеты 58,6 суток, вращение прямое. Ось вращения принята перпендикулярной к плоскости его орбиты, за нулевой меридиан принят тот, который проходил через подсолнечную точку в момент первого прохождения Меркурия через перигелий в 1950 г. (это было 7 января 1950 г.). Счет долгот ведется так же, как и для Венеры.

Основными физическими координатами, определяющими ориентировку небесного тела относительно наблюдателя, являются (рис. 18): P — позиционный угол проекции оси вращения на небесную сферу, отсчитываемый от круга склонения, проходящего через центр диска светила (для северного полюса считается положительным к востоку); B_0 — угол наклона оси светила к картинной плоскости или равная ему широта центра видимого диска; L — долгота центрального меридиана. Угол B_0 считается положительным, когда северный конец оси светила наклонен к Земле, и отрицательным, когда он наклонен от Земли.

Для Луны углы L и B_0 обычно обозначаются λ_0 и β_0 и называются также оптической либрацией Луны по долготе и по широте. Кроме того, для Луны в Календаре приводится угол ψ — позиционный угол лунного терминатора, отсчитываемый от северной точки диска Луны до северного рога серпа против часовой стрелки. Этот же угол определяет положение диаметра, соединяющего оба рога серпа.

В Астрономическом Календаре ВАГО на каждый год приводятся величины P, B_0, L_0 для Солнца через каждые 5 дней, для Луны P, λ_0, β_0, ψ через 2 дня, для Марса P, B_0, L_0 через 4 дня, для Юпитера P, B_0, L_{I}, L_{II} через 8 дней, для Сатурна P, B_0 через 8 дней. Все углы даются с точностью до 0°,1.

Для Юпитера, имеющего заметное сжатие у полюсов, даются видимые размеры полярного и экваториального диаметров.

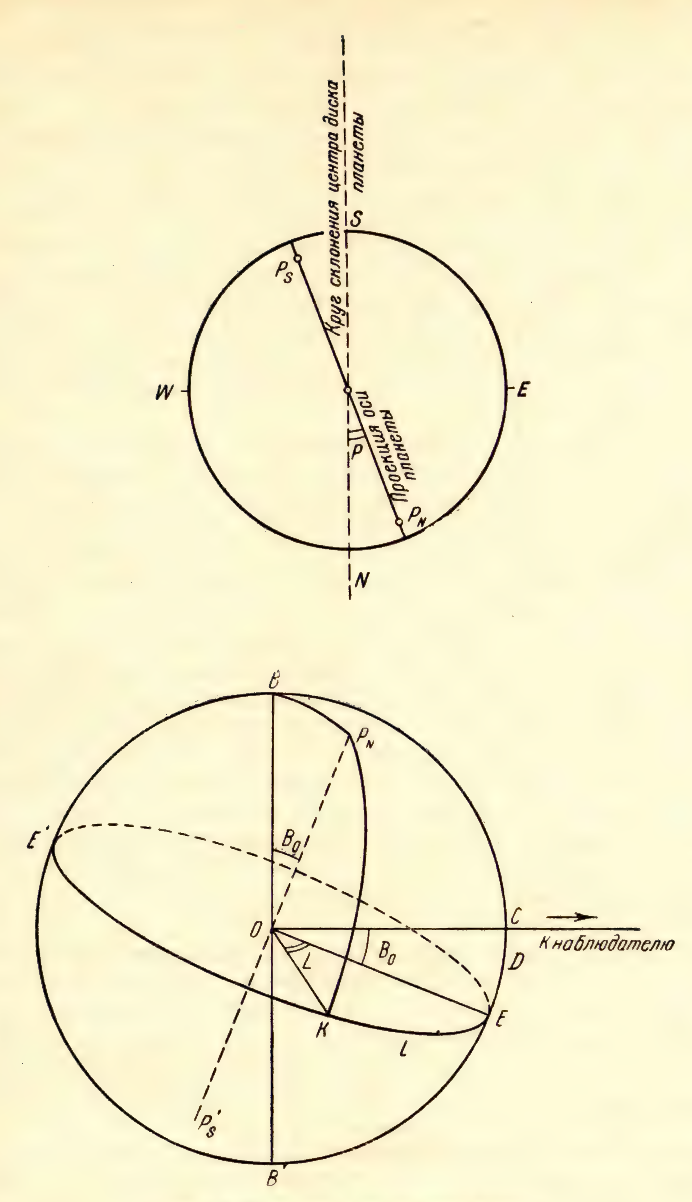


Рис. 18. Физические координаты планет.

Соотношение между ними не всегда равно действительному, так как оно зависит еще и от ориентировки эллипсоида планеты по отношению к Земле. Если планета обращена к Земле полюсом (как бывает, например, у Урана), ее видимое сжатие становится равным нулю, если же к Земле обращен экватор планеты, то оно наибольшее. Вообще же видимое сжатие ε' выражается через истинное сжатие ε простой формулой

$$\varepsilon' = \varepsilon \cos^2 B_0.$$

Видимый полярный диаметр планеты d_p выражается через ее видимый экваториальный диаметр d_e и видимое сжатие ε' следующим образом:

$$d_p = d_e (1 - \varepsilon').$$

Для кольца Сатурна даются видимые размеры большой и малой осей a и b, а также их отношение (раскрытие кольца)

$$\frac{b}{a} = \sin B_0.$$

Эта формула может служить для определения B_0 по a и b. Угол B_0 для Сатурна изменяется от 0 до 28°. При $B_0 = 0°$ наступает «исчезновение» колец.

Для Луны, Меркурия, Венеры и Марса в Календаре дается также значение фазы Φ_0 (см. § 17, формула (1.81)), а для Солнца — видимый радиус солнечного диска r.

§ 16. Системы координат в пространстве

При изучении движений небесных тел используют, кроме рассмотренных выше систем астрономических координат на небесной сфере (см. § 3, гл. I), также системы координат, с помощью которых можно фиксировать положения тел в пространстве. Одна система координат отличается от другой своим началом и выбором основной координатной плоскости. Поэтому различают *геоцентрические* системы координат (с началом в центре Земли), *гелиоцентрические* (с началом в центре Солнца), *планетоцентрические* (с началом в центре планеты) и др.

В качестве основной выбирают обычно плоскость эклиптики (точное определение этой плоскости см. ниже в § 17) или плоскость экватора. В зависимости от этого будем иметь эклиптические или экваториальные системы координат.

Кроме того, различают *сферические* и *прямоугольные* координаты.

Вследствие прецессии и нутации (см. § 11 гл. I) положения эклиптики и экватора, а также точки весеннего равноденствия ♈ меняются с течением времени. Поэтому при необходимости точ-

ного определения положений небесных тел указывают эпоху (момент времени), которой соответствует данная неподвижная система координат.

Геоцентрические системы координат. Эти системы координат используются при изучении движений относительно Земли

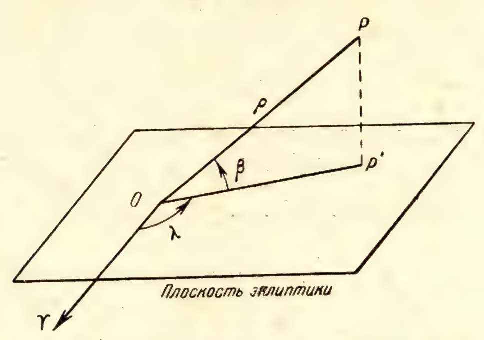


Рис. 19. Геоцентрические сферические эклиптические координаты.

таких небесных тел как Луна, искусственные спутники Земли и другие космические аппараты, а также при определении геоцентрических положений небесных тел, движущихся вокруг Солнца.

Сферические эклиптические координаты (рис. 19). Начало координат O в центре Земли. Плоскость эклиптики — основная

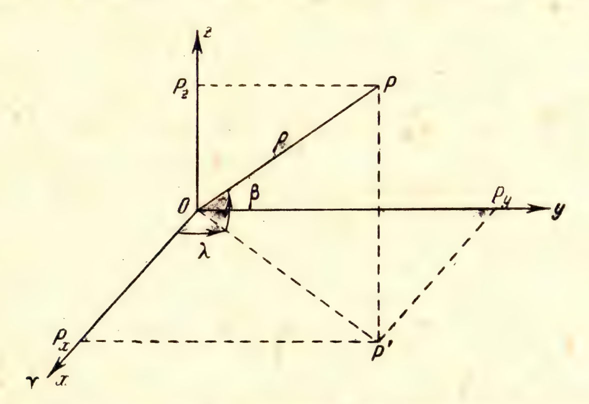


Рис. 20. Прямоугольные геоцентрические эклиптические координаты.

координатная плоскость. Главная ось направлена к точке ♈. Координатами точки P являются геоцентрическое расстояние ρ от центра Земли до P и углы λ, β, совпадающие с эклиптическими долготой и широтой.

Сферические экваториальные координаты. Начало и направление главной оси те же. Основой является плоскость небесного

экватора. Координатами точки P являются геоцентрическое расстояние ρ и углы α, δ, совпадающие с прямым восхождением и склонением.

Прямоугольные эклиптические координаты. Начало там же. Плоскость эклиптики — основная координатная плоскость. Ось Ox направлена к точке ♈, ось Oy — на 90° к востоку, а ось Oz — к северу, перпендикулярно к плоскости xy. На рис. 20 P' и P'_z — проекции точки P на плоскость xy и на ось Oz соответственно, а P_x, P_y — проекции точки P' на оси Ox и Oy. Длины отрезков OP_x, OP_y, OP_z с соответствующим знаком представляют собой прямоугольные координаты точки P и обозначаются через X, Y, Z соответственно. Если направление от O к точке P_x совпадает с положительным направлением оси Ox, то координата X считается положительной, в ином случае — отрицательной. То же самое относится к координатам Y, Z.

Связь между координатами X, Y, Z и сферическими координатами ρ, λ, β (они также указаны на рис. 20) выражается формулами

$$\left.\begin{aligned} X &= \rho\cos\beta\cos\lambda, \\ Y &= \rho\cos\beta\sin\lambda, \\ Z &= \rho\sin\beta, \end{aligned}\right\} \quad (1.76)$$

или

$$\operatorname{tg}\lambda = \frac{Y}{X}, \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{Z}{\sqrt{X^2+Y^2}}. \quad (1.76^*)$$

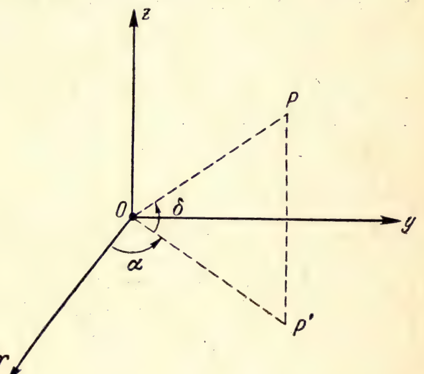


Рис. 21. Прямоугольные геоцентрические экваториальные координаты.

При определении λ надо учитывать знаки Y и X, которые совпадают со знаками $\sin\lambda$ и $\cos\lambda$ соответственно. При $Z < 0$ угол $\beta < 0$.

Прямоугольные экваториальные координаты (рис. 21). Начало и направление оси Ox те же. Плоскость xy совпадает с плоскостью экватора и ось Oz направлена к северному полюсу мира. Связь между X, Y, Z и сферическими экваториальными координатами ρ, α, δ выражается формулами

$$\left.\begin{aligned} X &= \rho\cos\delta\cos\alpha, \\ Y &= \rho\cos\delta\sin\alpha, \\ Z &= \rho\sin\delta, \end{aligned}\right\} \quad (1.77)$$

или

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{Y}{X}, \quad \operatorname{tg}\delta = \frac{Z}{\sqrt{X^2+Y^2}}. \quad (1.77^*)$$

Гелиоцентрические системы координат. Эти системы координат используются при изучении движения небесных тел вокруг Солнца.

Сферические эклиптические координаты. Рассматривают гелиоцентрическую небесную сферу (с центром в центре S Солнца). Пересечение этой небесной сферы с плоскостью движения Земли вокруг Солнца образует *гелиоцентрическую эклиптику*; пересечение с плоскостью, параллельной плоскости земного экватора, образует *гелиоцентрический небесный экватор.* Фиксируют гелиоцентрическую точку весеннего *равноденствия* Υ' (обычно ее обозначают Υ, так же как и геоцентрическую точку весеннего равноденствия). Направления $S\Upsilon$ и $S\Upsilon'$ параллельны между собой.

Эклиптические координаты β' (широта) и λ' (долгота) на гелиоцентрической небесной сфере называют *гелиоцентрическими.* Это — координаты, которые определял бы воображаемый наблюдатель в центре Солнца. Расстояние r от Солнца и углы λ', β' являются *сферическими эклиптическими координатами* (рис. 22).

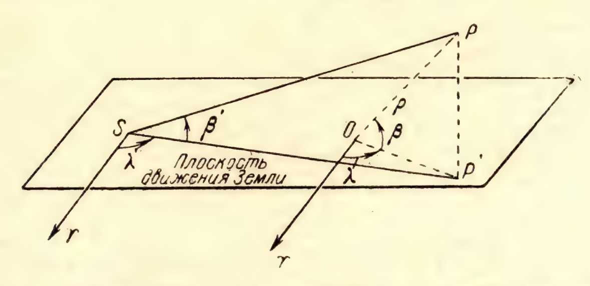


Рис. 22. Сферические геоцентрические и гелиоцентрические эклиптические координаты.

Прямоугольные эклиптические координаты. Основная плоскость xy совпадает с плоскостью эклиптики. Оси Sx, Sy, Sz параллельны в пространстве осям Ox, Oy, Oz геоцентрической системы координат. Схема аналогична указанной на рис. 20. Прямоугольные координаты X, Y, Z точки P связаны с ее сферическими координатами r, λ', β' формулами, аналогичными (1.76), (1.76*).

Прямоугольные экваториальные координаты. Плоскость xy совпадает с плоскостью, параллельной плоскости земного экватора. Оси Sx, Sy, Sz параллельны соответствующим осям геоцентрической системы координат.

Формулы преобразования прямоугольных координат. Эти формулы дают возможность переходить от координат точки P в одной системе к координатам в другой системе. Связь между одноименными (гео- или гелиоцентрическими) экваториальными $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ и эклиптическими (x, y, z) координатами выражается

формулами

$$\left.\begin{array}{lll}\bar{x}=x, & & x=\bar{x},\\ \bar{y}=y\cos\varepsilon-z\sin\varepsilon, & \text{или} & y=\bar{y}\cos\varepsilon+\bar{z}\sin\varepsilon,\\ \bar{z}=y\sin\varepsilon+z\cos\varepsilon, & & z=-\bar{y}\sin\varepsilon+\bar{z}\cos\varepsilon,\end{array}\right\}\quad(1.78)$$

где ε — наклон эклиптики к экватору. В эпоху 1950,0

$$\varepsilon=23°26'44'',84 \quad \text{и} \quad \sin\varepsilon=0{,}39788,\ \cos\varepsilon=0{,}91744.$$

В течение каждого года ε уменьшается на $0'',47$.

Связь между одноименными (экваториальными или эклиптическими) геоцентрическими (X, Y, Z) и гелиоцентрическими (x, y, z) координатами выражается формулами

$$\left.\begin{array}{l}x=X-X_{\odot},\\ y=Y-Y_{\odot},\\ z=Z-Z_{\odot},\end{array}\right\}\quad(1.79)$$

где $X_{\odot}$, $Y_{\odot}$, $Z_{\odot}$ — геоцентрические координаты Солнца. О вычислении последних см. ниже в § 19.

Планетоцентрические системы координат используются при анализе движений естественных или искусственных спутников вокруг своих планет. Эти системы строятся так же, как геоцентрические системы координат. За основную плоскость выбирают обычно плоскость экватора планеты.

§ 17. Видимые и истинные движения небесных тел Солнечной системы

Под *видимым движением* небесных тел подразумевают обычно их наблюдаемое с Земли перемещение по небесной сфере относительно системы координат, освобожденной от суточного вращения (например, экваториальной системы (α, δ), эклиптической (λ, β)). Грубо говоря, это — перемещение относительно звезд. *Истинные движения* небесных тел — их движения в космическом пространстве, определяемые действующими на эти тела силами. Эти движения астрономы описывают таблицами движения, в которых даются координаты небесного тела в пространстве на различные моменты времени, или аналитическими теориями движения, т. е. соответствующими формулами, позволяющими вычислить эти координаты. Эти таблицы, или теории, позволяют составить *эфемериды* небесных тел — таблицы с координатами этих тел на небесной сфере (например, α, δ) в различные моменты времени. Эфемерида отражает ожидаемую (на основании теории) видимую траекторию движения.

Характеристики, связанные с суточным вращением небесной сферы (моменты и азимуты восхода и захода и др.),

вычисляются так же, как и для всех небесных светил, по известным на данные сутки α, δ или λ, β.

Видимое движение Солнца. В течение года Солнце перемещается среди звезд все время с запада на восток по эклиптике (см. § 2 гл. I), более точное определение которой дано ниже в разделе о возмущенном движении планет. Период видимого обращения Солнца по эклиптике называется *сидерическим* (или *звездным*) годом; он равен 365,256 360 средних солнечных суток. Перемещение Солнца по эклиптике неравномерное; наиболее быстрое (около $1°7'$ в сутки) в первых числах января и наиболее медленное (около $57'$ в сутки) в первых числах июля.

Главные даты годичного движения Солнца:

21 марта: *день весеннего равноденствия.* Координаты центра Солнца $\alpha_{\odot}=\delta_{\odot}=0$; Солнце пересекает в этот день экватор в точке Υ, переходя из южной полусферы в северную.

22 июня: *день летнего солнцестояния*; $\alpha_{\odot}=90°$, $\delta_{\odot}=\varepsilon$. Солнце достигает наибольшего северного склонения. Наибольшая полуденная высота Солнца над горизонтом в северном полушарии Земли, равна $90°-\varphi+\varepsilon$ (φ — широта места).

23 сентября: *день осеннего равноденствия*; $\alpha_{\odot}=180°$, $\delta_{\odot}=0$. Солнце опять пересекает экватор в точке Ω, переходя из северной полусферы в южную.

22 декабря: *день зимнего солнцестояния*; $\alpha_{\odot}=270°$, $\delta_{\odot}=-\varepsilon$. Солнце достигает наибольшего южного склонения $\delta=-\varepsilon$. Наименьшая полуденная высота Солнца над горизонтом в северном полушарии, равная $90°-\varphi-\varepsilon$.

Положения эклиптики, небесного экватора, точки Υ, наклона эклиптики к экватору ε не сохраняются постоянными вследствие прецессии и нутации (см. § 11 гл. I). Поэтому системы координат (α, δ), (λ, β) привязывают к эклиптике, экватору и точке Υ определенной эпохи (момент времени). Распространены системы координат, отнесенные к эпохе 1900,0 или 1950,0. Рассматривают также системы координат, отнесенные к эклиптике и средней точке Υ на начало данного года или на данный момент.

Видимое положение центра Солнца всегда несколько отклоняется как от эклиптики какой-либо эпохи, так и от эклиптики данного момента (мгновенной эклиптики).

Видимое движение планет. Планеты в своем видимом движении всегда остаются вблизи эклиптики (эклиптическая широта β для Плутона в пределах $\pm 17°$, для остальных планет $\pm 5° \div 6°$). Бóльшую часть своего видимого пути планеты перемещаются между звездами, как и Солнце, с запада на восток (это — *прямое* движение). Каждая планета через некоторые промежутки времени замедляет свое прямое движение и как бы останавливается (*момент стояния*), после чего начинает перемещаться в обратном направлении (к западу). Продолжительность такого движения, называемого *обратным* (*попятным*),

для данной планеты каждый раз примерно одинакова (для Меркурия около 17^d, для Венеры 41^d, для Марса 70^d и т. д.). Затем наблюдается опять стояние планеты, после чего прямое ее движение возобновляется.

Видимый путь планеты на карте неба — сложная линия с зигзагами и петлями. Он меняется от цикла к циклу, в течение которого планета возвращается примерно на одно и то же место среди звезд.

Когда планета приближается к Солнцу и приобретает ту же эклиптическую долготу, что и Солнце, имеет место *соединение* планеты с Солнцем. Вблизи соединений планета скрывается в лучах Солнца. Условия видимости наименее благоприятные. Условия видимости планет считаются хорошими, если в момент, когда Солнце скрывается под горизонтом, планета находится на 6° и более над горизонтом.

Меркурий и Венеру называют *нижними* планетами, все остальные — *верхними*.

Видимое движение нижних планет может быть привязано непосредственно к Солнцу. Различают *верхнее соединение*, во время которого планета обгоняет Солнце (имеет прямое движение, более быстрое, чем Солнце), и *нижнее*, во время которого планета перемещается навстречу Солнцу, имея обратное движение. При некоторых соединениях, когда планета находится очень близко к эклиптике, она проходит за диском Солнца или перед ним. Последнее явление называют *прохождением* планеты по диску Солнца. Для Меркурия оно наблюдалось в последний раз в 1970 г. и будет иметь место в ноябре 1973 г., ноябре 1986 г. и т. д. Для Венеры оно наблюдалось в последний раз в 1882 г., а следующий раз будет иметь место только в июле 2004 г.

После верхнего соединения планета постепенно удаляется от Солнца на восток и видна в *восточной элонгации* (восточном удалении) после захода Солнца как вечерняя «звезда». Венера из-за своей большой яркости часто бывает видна и до полного захода Солнца.

По мере удаления от Солнца прямое перемещение планеты замедляется; когда оно становится таким же, какое имеет Солнце (около 1° в сутки), то планета находится на наибольшем расстоянии от Солнца к востоку (в наибольшей восточной элонгации). После этого Солнце догоняет планету и затем после нижнего соединения опережает ее. Планета наблюдается тогда по утрам на востоке в *западной элонгации*. Достигнув наибольшей западной элонгации, планета снова начинает двигаться быстрее, чем Солнце, и весь цикл повторяется. Наибольшая элонгация Венеры равна около 46°, а Меркурия — в среднем 23° (от 10° до 28°).

Видимое движение верхних планет отличается от движения нижних планет. Угловое расстояние вдоль эклиптики между

Солнцем и планетой может быть любым, от 0° до 180°. Все планеты перемещаются между звездами медленнее, чем Солнце. Когда планета расположена в противоположной от Солнца точке небесной сферы (разность эклиптических долгот Солнца и планеты равна 180°), то имеет место *противостояние* (*оппозиция*) планеты. Оно приходится на середину отрезка обратного движения планеты. Условия видимости планеты тогда наилучшие.

Когда долготы Солнца и планеты отличаются на 90° (промежуточное положение между соединением и противостоянием), то планета находится в *квадратуре* (восточной или западной).

Промежуток времени, в течение которого планета возвращается в прежнее положение относительно Солнца, называется ее *синодическим* периодом обращения (S). Его определяют как промежуток времени между двумя последовательными противостояниями или соединениями (для нижних планет одноименными). Значения S см. в табл. 5а, в отделе «Таблицы».

Условия видимости планеты в течение каждого синодического периода в целом повторяются.

Истинное орбитальное движение планет. Путь планеты или какого-нибудь другого небесного тела в пространстве называется *орбитой*. Поэтому поступательное движение планеты, т. е. движение ее центра масс в пространстве, называется *орбитальным*. Его отличают от *вращательного* движения вокруг центра масс. Закономерности орбитального движения каждой планеты определяются силами, действующими на эту планету. Главным образом это силы притяжения по закону Ньютона со стороны Солнца и других планет.

а) Невозмущенное движение. Невозмущенным движением планеты называется такое, которое происходило бы только под влиянием силы притяжения Солнца по закону Ньютона, т. е. такое, которое соответствует точно задаче двух тел (Солнце — планета) в небесной механике. Это движение называют также *кеплеровым*, так как оно подчиняется знаменитым трем законам Кеплера.

Особенности и характеристики невозмущенного движения следующие:

Планета движется вокруг Солнца, оставаясь все время в одной плоскости и описывая эллипс (эллиптическую орбиту), причем Солнце находится в одном из фокусов эллипса.

Наиболее удаленная от Солнца S точка эллиптической орбиты называется *афелием* (A), а наиболее близкая — *перигелием* ($П$). Расстояния SA и $SП$ называются *афелийным* и *перигелийным расстояниями* соответственно.

Большая полуось a эллиптической орбиты рассматривается как *среднее расстояние* планеты от Солнца. Период обращения планеты P зависит от a и отчасти от массы планеты. Движение планеты по орбите происходит неравномерно: вблизи перигелия

она движется быстрее, а вблизи афелия медленнее. Средняя скорость движения каждой планеты по своей орбите тем меньше, чем больше ее среднее расстояние от Солнца, точнее, обратно пропорциональна квадратному корню из большой полуоси. (Точные формулы для характеристик невозмущенного движения см. ниже.) Все планеты движутся по своим орбитам в одном направлении.

Эксцентриситеты e планетных орбит малы: наибольшие имеют орбита Меркурия ($e = 0{,}206$) и орбита Плутона ($e = 0{,}249$). Поэтому по своей форме они мало отличаются от окружности. Плоскости эллиптических орбит всех планет различны, но очень мало наклонены друг к другу.

Картина невозмущенного движения планет позволяет объяснить в целом особенности видимых движений планет, в частности, обратные движения. Такие понятия, как соединения, противостояния, квадратуры, связаны со взаимным расположением Земли, Солнца и планеты (рис. 23 и 24).

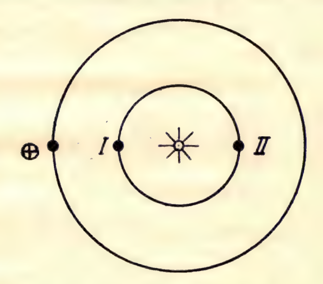


Рис. 23. Положение нижней планеты в моменты нижнего (I) и верхнего (II) соединений по отношению к Солнцу ⊙ и Земле ⊕.

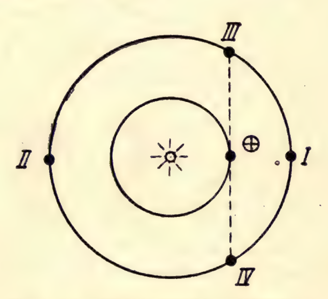


Рис. 24. Положение верхней планеты в моменты противостояния (I), соединения (II) и квадратур (III и IV) по отношению к Солнцу ⊙ и Земле ⊕.

Период обращения любой планеты вокруг Солнца называется *сидерическим* или *звездным* периодом. Примерно через такой период верхние планеты в своем видимом движении возвращаются на одно и то же место среди звезд. Сидерический период P связан с синодическим периодом S формулами

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{E} \text{ — для нижних планет,} \qquad (1.80)$$

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{P} \text{ — для верхних планет,} \qquad (1.80^*)$$

где E — сидерический (звездный) год.

Отсюда получает объяснение наблюдаемая у планет смена фаз. Каждая планета в течение синодического периода занимает различные положения по отношению к Земле и Солнцу, и земной наблюдатель не всегда видит диск планеты освещенным полностью.

Фаза планеты измеряется отношением площади освещенной части видимого диска ко всей его площади. Угол между направлением с планеты на Солнце и Землю называется *фазовым углом* (рис. 25). При фазовом угле $\psi = 180°$ (планета находится между Солнцем и Землей) фаза равна нулю, так как половина планеты, обращенная к Земле, не освещена совсем; при фазовом угле $\psi = 0$ (Земля и Солнце находятся по одну сторону от планеты) фаза равна 1, видимый диск планеты освещен полностью. В общем случае связь между фазой Φ и фазовым углом ψ определяется формулой

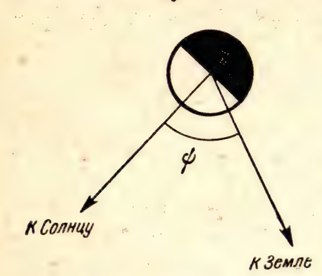


Рис. 25. Фаза планеты. Зачерненная половина планеты не освещена; ψ — фазовый угол.

$$\Phi = \cos^2 \frac{\psi}{2}. \tag{1.81}$$

Фазовый угол для нижней планеты изменяется от 0° (верхнее соединение) до 180° (нижнее соединение) и, следовательно, ее фазы изменяются от нуля до единицы (рис. 26).

ψ	0°	45°	90°	135°	180°	135°	90°	45°	0°
Φ	1	0,851	0,500	0,146	0	0,146	0,500	0,851	1

Рис. 26. Полная смена фаз для нижней планеты в течение синодического периода.

Для верхних планет фазовый угол никогда не превышает той максимальной величины, которая достигается в моменты квадратур (т. е. когда Земля видна с планеты в наибольшем удалении от Солнца). Для Марса эта величина составляет не более 48°,3, для Юпитера 11°, для всех остальных планет — меньше 11°. Поэтому для Марса фаза всегда не меньше 0,84, а для других верхних планет она всегда очень близка к единице.

б) Элементы невозмущенной орбиты планеты — шесть величин, определяющих кеплерово движение планеты вокруг Солнца.

Два элемента — *большая полуось* (a) и *эксцентриситет* (e) — характеризуют размеры и форму эллиптической орбиты. Для характеристики положения орбиты в пространстве рассматривают гелиоцентрическую небесную сферу, гелиоцентрическую точку ♈, а также используют следующие понятия: *линия узлов* — линия пересечения плоскостей орбит Земли и планеты; *узлы орбиты* — точки на эклиптике, в которых линия узлов пересекает небесную сферу. При этом узел, в котором планета, если ее наблюдать с Солнца, пересекает эклиптику, переме-

щаясь с юга на север, называется *восходящим* (обозначают ☊), а противоположный узел — *нисходящим* (☋).

Следующие три элемента (рис. 27) определяют положение плоскости орбиты и ориентацию орбиты в этой плоскости: наклон орбиты (i) — угол между плоскостью эклиптики (т. е. плоскостью орбиты Земли) и плоскостью орбиты планеты; долгота восходящего узла (☊) — угол между точкой ♈ и восходящим узлом орбиты, отсчитываемым от ♈ вдоль эклиптики с запада на восток; угловое расстояние перигелия от узла (или аргумент перигелия) (ω) — угол между линией узлов и направлением из Солнца на перигелий орбиты, отсчитываемый от восходящего узла в направлении движения планеты.

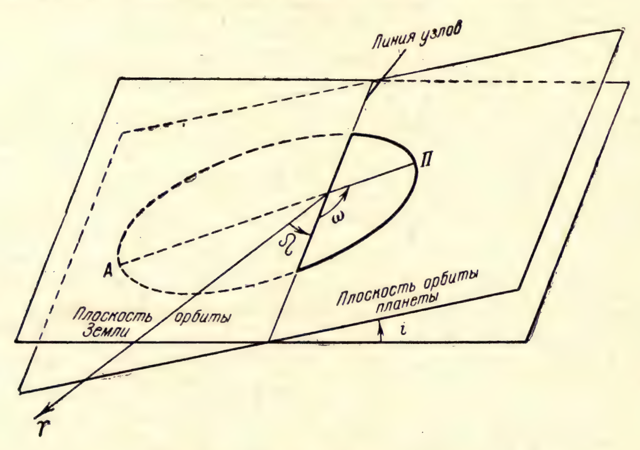


Рис. 27. Элементы орбиты планеты.

Элементы ☊, i, ω называются *угловыми элементами* и зависят от выбранной системы отсчета (экватора, эклиптики и точки ♈).

Шестой элемент фиксирует положение планеты на ее орбите. Таким элементом выбирают часто среднюю аномалию (M), определяемую следующим образом.

Пусть дана эллиптическая орбита тела P, движущегося вокруг Солнца S. Проведем из центра этой орбиты O окружность радиусом, равным большой полуоси эллипса (рис. 28). Пусть в момент t_0 тело находится в перигелии орбиты $П$, а через некоторое время в момент t_1 перешло в точку P'. Угол $P'SП$ (между направлением на перигелий и радиусом-вектором) называется *истинной аномалией* v тела в момент t_1. Проведем через P' прямую, перпендикулярную к оси $АП$ и пересекающуюся в точке P'' с окружностью. Угол $ПOP''$ называется *эксцентрической аномалией* E в момент t_1. Представим теперь точку, которая выходит из перигелия одновременно с P и движется по

окружности равномерно со скоростью, равной средней скорости движения P по орбите. Средняя угловая скорость P называется *средним движением* и равна

$$n = \frac{360^\circ}{T},$$

где T — период обращения. Если в момент t_1 такая точка займет положение $\bar{P}$, то угол $ПО\bar{P}$ будет равен $n(t_1 - t_0)$. Эта величина называется *средней аномалией* M в момент t_1 (или в эпоху t_1).

Следующие формулы связывают углы E, M и v и позволяют переходить от v к M и наоборот:

$$E - e \sin E = M, \tag{1.82}$$

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}, \tag{1.83}$$

где e — эксцентриситет орбиты. Соотношение (1.82) называется *уравнением Кеплера.*

Вместо ω и M используют в качестве элементов невозмущенной орбиты другие аналогичные величины: *долготу перигелия* $\pi = \Omega + \omega$, *среднюю долготу планеты в орбите* в некоторый момент (эпоху) t, равную $L = \pi + M$; *момент прохождения через перигелий* T, связанный со средней аномалией M формулой $M = n(t - T)$.

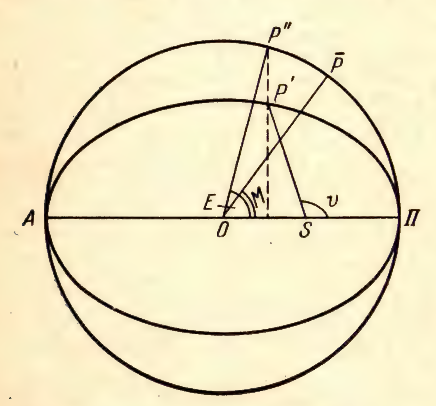


Рис. 28. Истинная, эксцентрическая и средняя аномалии тела при движении по эллиптической орбите.

в) Формулы невозмущенного движения. Среднее движение n связано с большой полуосью a и массой планеты m формулой

$$n^2 = \frac{k^2 (M_\odot + m)}{a^3}, \tag{1.84}$$

где $M_\odot$ — масса Солнца, k_2 — постоянная тяготения, или гравитационная постоянная. Эта постоянная входит как коэффициент пропорциональности в закон тяготения Ньютона, согласно которому силы притяжения между двумя материальными частицами с массами m_1, m_2, находящимися на расстоянии r друг от друга, равна

$$F = k^2 \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Если за единицы расстояния, времени и массы приняты астрономическая единица (а. е.), средние солнечные сутки (d) и масса

Солнца соответственно, то (с точностью до $1 \cdot 10^{-9}$) $k = 0{,}017\,202\,10$. Это число называют также гравитационной постоянной Гаусса.

Таким образом, если a выражено в а. е., m — в долях массы Солнца, $M_\odot = 1$, то при указанном k получим по формуле (1.84) среднее движение n за средние солнечные сутки в радианах. Умножив на число градусов в одном радиане (57°,295780), получим формулу для n в градусах за средние солнечные сутки:

$$n^0 = 0°{,}98560767 \frac{\sqrt{1+m}}{a\sqrt{a}}. \qquad (1.84^*)$$

Линейная скорость движения по круговой орбите (эксцентриситет $e = 0$) радиуса a равна

$$V = na = \frac{k\sqrt{M_\odot + m}}{\sqrt{a}} \qquad (n \text{ — в радианах}). \qquad (1.85)$$

При $M_\odot = 1$, $m = 0$, $a = 1$, получим

$$V = k = 0{,}017\,202\,10 \text{ а. е./d} = 29{,}785 \text{ км/час}$$

(так как 1 а. е. = 149 600 000 *км*, 1^d = 86 400 *сек*). Таким образом, средняя линейная скорость движения планеты по орбите с большой полуосью a, выраженной в а. е., равна

$$V_0 = 29{,}785 \frac{\sqrt{1+m}}{\sqrt{a}} \text{ км/час}, \qquad (1.86)$$

где масса планеты m выражена в долях массы Солнца.

Линейная скорость в точках орбиты с истинной аномалией v равна

$$V = V_0 \sqrt{\frac{1 + e\cos v + e^2}{1 - e^2}}, \qquad (1.87)$$

где e — эксцентриситет и V_0 — средняя скорость, определяемая согласно (1.85), (1.86). В перигелии ($v = 0$) и афелии ($v = 180°$)

$$V_{\text{пер}} = V_0 \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}, \quad V_{\text{аф}} = V_0 \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}. \qquad (1.88)$$

Расстояние (радиус-вектор) r Солнце — планета в точке орбиты с истинной аномалией v

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1 + e\cos v}. \qquad (1.89)$$

В перигелии и афелии $r = a(1-e)$ и $r = a(1+e)$ соответственно.

г) Возмущенное движение — фактическое движение планет, зависящее от всех действующих на них сил. Отклонения фактического движения планеты от невозмущенного называются *возмущениями*. Силы, которые вызывают возмущения, называются *возмущающими*. Практически это силы притяжения данной планеты другими планетами, хотя они и очень малы по сравнению с основной силой притяжения Солнца. Например, притяжение Земли Юпитером (самой большой планетой) не превышает $^1/_{16\,000}$ доли солнечного притяжения. Остальные возмущающие силы: притяжение планет своими спутниками, астероидами и кометами, дополнительные силы за счет отличия формы планет от точной шарообразной, сопротивление межпланетной среды и др. настолько малы, что до сих пор не учитывались. Исключение составляет Земля. Притяжение Земли Луной, масса которой лишь в 81 раз меньше массы Земли, играет существенную роль. Земля и Луна описывают сложное движение относительно их общего центра масс, находящегося на расстоянии около 4600 *км* от центра Земли. При точном анализе рассматривают орбитальное движение вокруг Солнца не самой Земли, а центра масс системы Земля — Луна.

Возмущения планет малы, однако их учет необходим при точном анализе движений.

Возмущенное движение принято характеризовать с помощью понятия оскулирующей (варьирующей) орбиты.

Если для какого-либо момента времени известны положение и скорость (по величине и направлению) небесного тела в пространстве, то можно определить элементы той невозмущенной орбиты, по которой это тело должно было бы двигаться при отсутствии возмущений. Предположим, что мы определили в некоторый момент положение и скорость планеты и вычислили элементы эллиптической орбиты, соответствующие этим данным. Если бы возмущения отсутствовали, то тело всегда двигалось бы точно по этой орбите. Вследствие возмущений планета отклоняется от данной орбиты, т. е. в последующие моменты времени она не занимает тех положений и не обладает теми скоростями, которые соответствуют движению по этой орбите. Таким образом, если мы через некоторое время снова определим элементы орбиты по наблюденным положению и скорости, то мы не получим те же самые элементы. Правда, если возмущения невелики, то новые элементы орбиты будут мало отличаться от предыдущих. Если через некоторое время снова определить аналогичным путем элементы орбиты, то мы получим опять другие элементы, и т. д. Поэтому можно представить себе, что в каждый данный момент планета движется по некоторой эллиптической орбите, но элементы этой орбиты, т. е. размеры, форма и положение в пространстве этого эллипса все время

меняются. В таком случае говорят, что планета движется по *оскулирующей* орбите. Такая орбита математически описывается при помощи *оскулирующих* (т. е. изменяющихся) элементов. Изменения элементов называются их возмущениями.

В случае планет имеют место весьма малые возмущения элементов орбит *периодического* характера и более существенные, но очень медленные изменения монотонного типа, т. е. в одном направлении, называемые *вековыми*.

Плоскость орбиты Земли (точнее, центра масс системы Земля — Луна) не остается постоянной. Вследствие притяжения планет она испытывает медленные вековые возмущения и сравнительно быстрые, но очень малые периодические возмущения. Так как с этой плоскостью связывается эклиптика, играющая важнейшую роль в системах координат, то принято следующее определение:

плоскостью *мгновенной гелиоцентрической эклиптики* в момент (эпоху) t называется плоскость орбиты центра масс системы Земля — Луна, определяемая на этот момент с учетом вековых возмущений.

Эклиптика на геоцентрической небесной сфере определяется как линия пересечения этой сферы с плоскостью, проходящей через центр сферы и параллельной плоскости гелиоцентрической эклиптики.

Таким образом, плоскость эклиптики является **подвижной плоскостью**. Она поворачивается в настоящее время со скоростью около 47″ в столетие вокруг линии пересечения ее с плоскостью экватора. Периодические колебания плоскости орбиты Земли настолько малы, что видимый с Земли центр Солнца отклоняется от мгновенной эклиптики не более, чем на 1″.

В таблице 5а отдела «Таблицы» приведены значения элементов орбит планет на момент (эпоху) 1970,0. Приведены также приближенные годичные изменения оскулирующих угловых элементов, всегда относимых к мгновенной эклиптике и к средней точке равноденствия данной даты (эпохи).

Существенно, что вековые возмущения больших полуосей планетных орбит отсутствуют. Оскулирующие элементы орбиты, находимые с учетом только вековых возмущений, называются *средними элементами*. Приведем приближенные формулы для средних элементов орбит планет:

$$\text{Меркурий}\begin{cases} a = 0{,}387098 \text{ а. е.}, \\ e = 0{,}205624 + 0{,}00000020T, \\ i = 7°{,}004 + 0°{,}000019T, \\ \Omega = 47°{,}739 + 0°{,}01185T + 0°{,}000000017T^2, \\ \pi = 76°{,}677 + 0°{,}01556T + 0°{,}000000029T^2, \\ L = 33°{,}168 + 1494°{,}74071T + 0°{,}000000030T^2, \end{cases}$$

$$\text{Венера}\left\{\begin{aligned} a &= 0{,}723332 \text{ а. е.},\\ e &= 0{,}006797 - 0{,}00000048T,\\ i &= 3^\circ{,}394 + 0^\circ{,}000010T,\\ \Omega &= 76^\circ{,}230 + 0^\circ{,}00900T + 0{,}000000041T^2,\\ \pi &= 130^\circ{,}867 + 0^\circ{,}01407T - 0^\circ{,}000000098T^2,\\ L &= 81^\circ{,}572 + 585^\circ{,}19212T + 0^\circ{,}000000032T^2, \end{aligned}\right.$$

$$\text{Земля}\left\{\begin{aligned} a &= 1{,}00000023 \text{ а.е.},\\ e &= 0{,}016730 - 0{,}00000042T,\\ \Omega &= 0, \quad i = 0,\\ \pi &= 102^\circ{,}081 + 0^\circ 01720T + 0^\circ{,}000000045T,\\ L &= 99^\circ{,}588 + 360^\circ{,}00769T + 0^\circ{,}000000030T, \end{aligned}\right.$$

$$\text{Марс}\left\{\begin{aligned} a &= 1{,}523688 \text{ а. е.},\\ e &= 0{,}093359 + 0{,}00000092T,\\ i &= 1^\circ{,}850 - 0^\circ{,}000007T,\\ \Omega &= 49^\circ{,}172 + 0^\circ{,}00771T^2,\\ \pi &= 335^\circ{,}139 + 0^\circ{,}01841T + 0^\circ{,}000000013T^2,\\ L &= 144^\circ{,}335 + 191^\circ{,}417000T + 0^\circ{,}000000032T^2, \end{aligned}\right.$$

$$\text{Юпитер}\left\{\begin{aligned} a &= 5{,}202561 \text{ а. е.},\\ e &= 0{,}048417 + 0{,}00000164T,\\ i &= 1^\circ{,}306 - 0^\circ{,}000057T,\\ \Omega &= 99^\circ{,}949 + 0^\circ{,}01011T + 0^\circ{,}000000035T^2,\\ \pi &= 13^\circ{,}526 + 0^\circ{,}01611T + 0^\circ{,}000000106T^2,\\ L &= 316^\circ{,}159 + 30^\circ{,}36302T + 0^\circ{,}000000033T^2, \end{aligned}\right.$$

$$\text{Сатурн}\left\{\begin{aligned} a &= 0{,}554747 \text{ а. е.},\\ e &= 0{,}055719 - 0{,}00000346T,\\ i &= 2^\circ{,}491 - 0^\circ{,}000039T,\\ \Omega &= 113^\circ{,}227 + 0^\circ{,}00873T - 0^\circ{,}000000015T^2,\\ \pi &= 92^\circ{,}078 + 0^\circ{,}01959T + 0^\circ{,}000000082T^2,\\ L &= 158^\circ{,}303 + 12^\circ{,}23510T + 0^\circ{,}000000032T^2, \end{aligned}\right.$$

$$
\text{Уран}\begin{cases}
a = 19{,}21814 \text{ а. е.},\\
e = 0{,}046331 - 0{,}00000027T,\\
i = 0^\circ{,}773 + 0^\circ{,}000006T,\\
\Omega = 73^\circ{,}727 + 0^\circ{,}00500T + 0^\circ{,}000000131T^2,\\
\pi = 172^\circ{,}291 + 0^\circ{,}01485T + 0^\circ{,}000000024T^2,\\
L = 99^\circ{,}124 + 4^\circ{,}29864T + 0^\circ{,}000000032T^2,
\end{cases}
$$

$$
\text{Нептун}\begin{cases}
a = 30{,}10957 \text{ а. е.},\\
e = 0{,}008997 + 0{,}00000006T,\\
i = 1^\circ{,}774 - 0^\circ{,}000095T,\\
\Omega = 131^\circ{,}231 + 0^\circ{,}01099T + 0^\circ{,}000000025T^2,\\
\pi = 47^\circ{,}440 + 0^\circ{,}01425T + 0^\circ{,}000000039T^2,\\
L = 194^\circ{,}398 + 2^\circ{,}19886T + 0^\circ{,}000000032T^2.
\end{cases}
$$

В этих формулах T — время, отсчитываемое от эпохи 1950,0 (т. е. от среднего гринвичского полудня 1 января 1950 г.) в юлианских годах (1 юлианский год = 365,25 средних солнечных суток). На каждый момент t

$$T = \frac{(\text{J. D})_t - 2\,433\,282}{365{,}25}, \tag{1.90}$$

где $(\text{J. D.})_t$ — юлианская дата, соответствующая моменту t и находимая по таблицам 11 в отделе «Таблицы». Например, пусть $t = 3$ марта 1975 г., $15^h 0^m$ среднего гринвичского времени. По табл. 11 находим юлианскую дату на 1 марта 1975 г., 12^h. От этого момента до t_0 проходит еще $2^d 3^h 0^m$ или $2^d{,}125$. Следовательно, $(\text{J. D})_t = 2\,442\,474{,}125$ и $T = \frac{9192{,}125}{365{,}25} = 25{,}166667$.

Обратим внимание на следующие особенности этих формул.

а) Коэффициент при T в выражении для средней долготы в орбите L представляет собой среднее движение n планеты в градусах за юлианский год. Для каждой планеты среднее движение получено при помощи теоретического анализа и многолетних наблюдений. Оно включает в себя различные возмущающие эффекты и не соответствует точно невозмущенному среднему движению, находимому по большой полуоси согласно (1.84 *).

б) Для вычисления L на заданный момент с точностью $0^\circ{,}001$ требуется определить T с ошибкой ΔT, не превышающей $0^\circ{,}001/n$. Для Меркурия $\Delta T \leqslant 0{,}6 \cdot 10^{-6}$, для Юпитера $\Delta T \leqslant 0{,}3 \cdot 10^{-4}$ и т. д.

в) Получаемые по этим формулам на любой момент угловые элементы Ω, π, i, а также L отнесены к эклиптике и средней точке Υ этого же момента. Их изменение включает в себя

прецессию точки ♈ и вековое изменение плоскости орбиты Земли. (Поэтому всегда по этим формулам ☊ = 0, $i = 0$ для Земли.)

Таким образом, приведенные формулы характеризуют расположение орбит планет по отношению к орбите Земли. Если отнести оскулирующие угловые элементы орбиты Земли к фиксированным эклиптике и точке ♈, например, эпохи 1950,0, то с учетом лишь вековых возмущений получим приближенно:

$$\left.\begin{aligned} ☊ &= 174°,407 + 32'',9T, \\ \pi &= 102°,080 + 11'',7T, \end{aligned} \quad i = 0'',471T. \right\} \qquad (1.91)$$

Чтобы перейти к угловым элементам, отнесенным всегда к эклиптике и средней точке ♈ фиксированной эпохи 1950,0, надо в формулы, выписанные выше, ввести поправки за прецессию. Приближенно поправки Δ☊ и $\Delta\pi$ будут равны:

$$\left.\begin{aligned} \Delta ☊ &= [-50'',257 + 0'',471 \sin(☊_0 + 180° - ☊^*) \operatorname{ctg} i_0]\, T, \\ \Delta\pi &= \left[-50'',257 - 0'',471 \sin(☊_0 + 180° - ☊^*) \operatorname{tg} \frac{i_0}{2}\right] T, \end{aligned}\right\} \qquad (1.92)$$

где ☊* = 174°,407 — значение ☊ для орбиты Земли в эпоху 1950,0 и ☊$_0$, i_0 — значения элемента ☊, i для орбиты планеты в эту эпоху (т. е. при $T = 0$). Поправка $\Delta L = \Delta\pi$, а поправка Δi очень мала.

Введя эти поправки, получим, что собственные вековые изменения ☊ и π в секундах дуги за юлианский год приближенно равны:

Таблица II

Планета	(☊)	(π)	Планета	(☊)	(π)
Меркурий	−4,5	5,7	Сатурн	−9,2	20,2
Венера	−10,0	0,4	Уран	2,1	3,2
Марс	−10,6	16,0	Нептун	−0,3	1,0
Юпитер	6,0	7,7			

Таким образом, перигелии орбит всех планет обладают прямым движением (перемещаются в направлении движения планеты, их долготы возрастают), узлы орбит Юпитера и Урана имеют также прямое движение (перемещаются по эклиптике с запада на восток), а узлы орбит остальных планет имеют обратное движение.

Периодические возмущения планет малы. Средние элементы позволяют вычислять эклиптическую долготу и широту планет с точностью до нескольких минут и нескольких секунд дуги соответственно. Однако следует также иметь в виду, что приведенные формулы для средних элементов отражают их изменения достаточно точно лишь на протяжении ограниченного промежутка времени, возможно, нескольких сотен лет. На проме-

жутках в несколько десятков или сотен тысяч лет эти формулы непригодны.

Вращательное движение планет. Каждая планета, в том числе и Земля, обладает вращением, происходящим вокруг некоторой воображаемой линии, называемой *осью вращения* планеты. Направление оси вращения в пространстве и период вращения каждой планеты остаются в течение длительного времени практически постоянными.

Периоды вращения планет приведены в табл. 5б (см. отдел «Таблицы»). Характерные особенности вращения отдельных планет следующие.

Наклон экватора к плоскости орбиты для Марса и Сатурна равен $24°52'$ и $26°4'$ соответственно (т. е. почти такой же, как и для Земли), для Юпитера — около $3°$ (ось вращения почти перпендикулярна к плоскости орбиты), для Урана — около $87°$ (ось вращения лежит почти в плоскости орбиты).

По наблюдениям Юпитер вращается не как твердое тело; экваториальные зоны вращаются с периодом $9^h 50^m$, а зоны в более высоких широтах — с периодом $9^h 55^m$. Такой же особенностью обладает вращение Сатурна.

Вследствие того, что планеты не имеют точной сферической формы и сжаты у полюсов, силы взаимного притяжения между планетами и Солнцем, между планетами и их спутниками влияют на вращательное движение. А именно, притяжение данной планеты ее спутниками и Солнцем приводит к возникновению сил, стремящихся повернуть ось вращения планеты. Вследствие этого возникают явления прецессии и нутации, выражающиеся в изменении направления оси вращения планеты в пространстве и изученные весьма детально для Земли.

Теоретически вращательное движение планет должно влиять на их орбитальное движение. Однако это влияние настолько мало, что практически не наблюдается.

Смена времен года. Наблюдаемая на Земле регулярная смена времен года есть следствие того, что ось вращения Земли сохраняет в течение каждого года практически постоянное направление в пространстве и вместе с тем наклонена к плоскости орбиты Земли под постоянным углом, равным $90° - \varepsilon \approx 66°{,}5$ (ε — наклон эклиптики к экватору). Медленное прецессионное движение оси вращения Земли таково, что этот угол остается почти неизменным, так что прецессия на смену времен года не влияет. Орбитальное движение Земли вокруг Солнца также не играет заметную роль, так как в течение всего года расстояние Земли от Солнца изменяется незначительно и вся Земля в целом получает примерно одинаковое количество солнечного тепла. Поток лучистой энергии, падающей на Землю, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния до Солнца, и если в афелии Земля получает Ф солнечного тепла, то в перигелии она получает 1,07 Ф (в 1,07 раза больше).

Ось вращения Земли меняет в течение года свое положение по отношению к линии между центрами Солнца и Земли, а вместе с тем и к направлению солнечных лучей. Схематическое расположение Земли по отношению к последним в дни равноденствий и солнцестояний указано на рис. 29. Угол α между направлением солнечных лучей и горизонтом в точке поверхности Земли с широтой φ равен в полдень $90° - \varphi + \varepsilon$, $90° - \varphi$, $90° - \varphi - \varepsilon$ в положениях *I*, *II* и *III* соответственно. Отдаваемая энергия лучистого потока пропорциональна синусу этого угла: $\Phi = \Phi_0 \sin \alpha$, где Φ_0 — отдаваемая энергия перпендикулярно падающих лучей. Следовательно, например, для Москвы ($\varphi \approx 55°45'$) имеем 22 июня $\alpha \approx 58°$, $\Phi \approx 0{,}85\,\Phi_0$; в дни равноденствий — $\alpha \approx 34°\,15'$, $\Phi \approx 0{,}56\,\Phi_0$ (в 1,5 раза меньше); 22 декабря — $\alpha \approx 11°$, $\Phi \approx 0{,}19\,\Phi_0$ (в 4,5 раза меньше). Такие вычисления показывают, что солнечные лучи отдают северным областям Земли с 21 марта по 22 сентября гораздо больше энергии, чем в течение осени и зимы. В южном полушарии Земли имеет место противоположная картина.

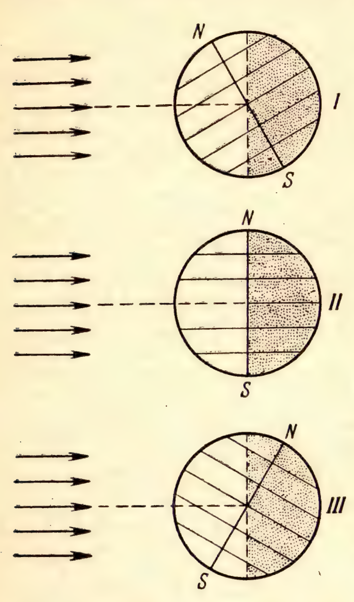


Рис. 29. Положения Земли по отношению к направлению солнечных лучей (указано стрелками) в различное время года: *I* — 22 июня, *II* — 23 сентября и 21 марта, *III* — 22 декабря.

Движение спутников планет. Движение спутников вокруг планет напоминает в известной степени движение планет вокруг Солнца. В основном движение спутников данной планеты управляется силой притяжения планеты по закону Ньютона, и поэтому спутники движутся вокруг планет, как и планеты вокруг Солнца, приблизительно по эллиптическим орбитам. Эксцентриситеты этих орбит, как и в случае планетных орбит, невелики; если планета имеет целую систему спутников (например, Юпитер, Сатурн), то эти спутники движутся в плоскостях, близких друг к другу; за редким исключением спутники движутся в одном направлении.

При рассмотрении эллиптического (невозмущенного) движения спутников определяют, как и в случае планет, элементы орбиты. Общее название ближайшей к центру планеты точки орбиты — *перицентр*, а наиболее удаленной — *апоцентр*. Основной плоскостью при определении угловых элементов орбит спутников является плоскость экватора планеты. Большие полу-

оси орбит спутников планет выражают обычно в долях радиуса планеты.

Заметные отклонения спутников от эллиптического движения происходят за счет взаимного притяжения спутников (в системах спутников), а также притяжения Солнца, играющего в данном случае роль возмущающего тела. Для некоторых спутников, которые находятся сравнительно близко к своим планетам, причиной заметных возмущений является то обстоятельство, что планеты вследствие отклонения от сферической формы притягивают не точно по закону Ньютона. В случае Сатурна на движение спутников оказывает влияние притяжение кольца, окружающего эту планету и состоящего из множества мелких материальных тел.

Интересны для наблюдений четыре наиболее ярких спутника Юпитера (I — Ио, II — Европа, III — Ганимед, IV — Каллисто), открытые еще Галилеем. Их можно было бы наблюдать простым глазом, если бы не мешал яркий свет планеты. Эти спутники движутся почти по круговым орбитам и почти в плоскости экватора планеты. Наблюдая с Земли, мы видим эти орбиты с ребра, так что спутники располагаются почти на одной линии, являющейся продолжением экваториальной полосы Юпитера. Спутники то прячутся за планетой (*покрытие*), то проходят перед ее диском, то попадают в тень планеты (*затмение*). В «Астрономическом Календаре» указываются моменты начала и конца покрытий и затмений. Эти моменты вычисляются на основании теории движений спутников.

Доступны также наблюдениям в небольшой телескоп спутники Сатурна — Титан и Япет. Удобнее всего их наблюдать, когда они достигают наибольшего удаления от планеты (элонгации) к западу или к востоку и яркий свет планеты не препятствует наблюдениям.

Движение Луны. Луна является спутником Земли, и в отношении нее справедливо все то, что было сказано выше о движении спутников вообще. Однако вопрос о ее движении рассматривается особо, так как Луна — самое близкое к Земле небесное тело, движущееся непосредственно вокруг Земли, и ее движение изучается весьма детально. При этом отклонения Луны от эллиптического движения, т. е. возмущения, велики; они гораздо больше, чем возмущения планет.

Видимое движение Луны изучается еще с древних времен. В целом оно как будто простое. Луна перемещается по небу, как и Солнце, все время с запада на восток и описывает примерно за один месяц большой круг. За сутки перемещение Луны составляет около 12—13°. Различают сидерический период обращения (или *сидерический* месяц) и *синодический* месяц. Первый равен периоду обращения Луны вокруг Земли, по истечении которого Луна возвращается в то же самое место среди звезд ($27^d,32$). По истечении синодического месяца ($29^d,53$)

Луна возвращается в то же самое положение в пространстве относительно Солнца и Земли. Синодический S и сидерический P месяцы связаны между собой по формуле (1.80). Поскольку каждому взаимному расположению Солнца, Луны и Земли соответствует определенная видимая фаза, то фазы Луны повторяются в течение каждого синодического месяца. На рис. 30 показаны различные положения Луны относительно Земли и Солнца и соответственный вид ее диска.

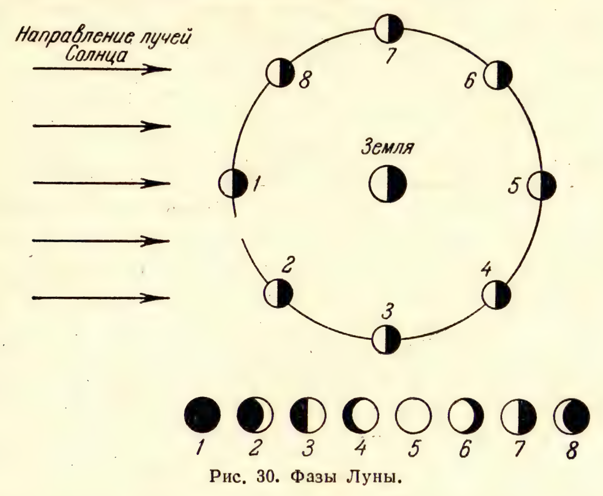


Рис. 30. Фазы Луны.

При детальном рассмотрении обнаруживаются весьма сложные особенности движения Луны. Видимый путь Луны с каждым месяцем изменяется, и ее движение по этому пути происходит очень неравномерно. Отклонения от равномерного перемещения обусловлены, во-первых, тем, что Луна движется не по кругу, а в первом приближении по эллипсу с эксцентриситетом, равным 0,055, а во-вторых, возмущениями от Солнца и от сжатия Земли. Эти возмущения настолько велики по сравнению, например, с возмущениями планет, что постоянная эллиптическая орбита при описании движения Луны на протяжении хотя бы одного года уже непригодна.

Если прибегнуть к понятию оскулирующей орбиты, то основные возмущения этой орбиты заключаются в том, что ее перицентр (для орбит вокруг Земли применяют термин *перигей*) смещается вдоль орбиты в прямом направлении со скоростью около 40°,7 в год, а ее восходящий узел смещается по эклиптике в обратном направлении со скоростью около 19°,3 в год. Наиболее устойчивый элемент лунной орбиты — ее большая полуось, равная 384 400 *км* и испытывающая лишь небольшие колебания.

Средний промежуток времени между возвращениями Луны в перигей орбиты называется *аномалистическим месяцем* ($27^d,55$), а в узел орбиты — *драконическим месяцем* ($27^d,21$).

Приближенные формулы для оскулирующих элементов следующие:

$$\left.\begin{aligned}
a &= a_0(1 + 0{,}0084\cos 2D), \quad a_0 = 384\,400\ \text{км},\\
e &= 0{,}0549 + 0{,}0126\cos(2D - l) + 0{,}0077\cos(2D - 2l),\\
i &= i_0 + 0^\circ{,}28\cos(2D - 2F),\\
\pi &= \pi_0 + 40^\circ{,}676t - 13^\circ{,}1\sin(2D - l) - 8^\circ{,}0\sin(2D - 2l),\\
\Omega &= \Omega_0 + 19^\circ{,}355t - 1^\circ{,}6\sin(2D - 2F),\\
L &= L_0 + 4812^\circ{,}665t - 0^\circ{,}36\sin 2D.
\end{aligned}\right\} \quad (1.93)$$

Здесь t — время в юлианских годах, угловые элементы i, π, Ω и средняя долгота в орбите L отнесены к фиксированным эклиптике и точке ♈, а i_0 ($\approx 5^\circ{,}14$), π_0, Ω_0, L_0 — их средние значения (при $t = 0$). Углы D, F, l носят название основных аргументов теории движения Луны (см. о них ниже). Коэффициенты при t в формулах для π и Ω определяют длины аномалистического и драконического месяцев.

В теории движения Луны выводятся формулы непосредственно для гелиоцентрических эклиптических долготы λ, широты β и расстояния r Луны от Земли. В упрощенном виде, если ограничиться наибольшими членами, их можно записать следующим образом:

$$\left.\begin{aligned}
\lambda = \bar{L} &+ 6^\circ{,}289\sin l^{(1)} - 1^\circ{,}246\sin(l - 2D)^{(2)} +\\
&+ 0^\circ{,}658\sin 2D^{(3)} + 0^\circ{,}214\sin 2l^{(1)} -\\
&- 0^\circ{,}186\sin l'^{(4)} - 0^\circ{,}114\sin 2F -\\
&- 0^\circ{,}059\sin(2l - 2D) - 0^\circ{,}057\sin(l + l' - 2D) +\\
&+ 0^\circ{,}053\sin(l + 2D) - 0^\circ{,}046\sin(l' - 2D) +\\
&+ 0^\circ{,}041\sin(l - l') - 0^\circ{,}035\sin D -\\
&- 0^\circ{,}030\sin(l + l'),\\
\beta = \ &5^\circ{,}128\sin F + 0^\circ{,}281\sin(l + F) -\\
&- 0^\circ{,}278\sin(F - l) - 0^\circ{,}173\sin(F - 2D) +\\
&+ 0^\circ{,}055\sin(F + 2D - l) - 0^\circ{,}046\sin(l + F - 2D) +\\
&+ 0^\circ{,}033\sin(F + 2D).\\
r = \ &\frac{384\,404}{Q}\ \text{км},\\
Q = 1 &+ 0{,}0545\cos\Omega + 0{,}0100\cos(\Omega - 2D) +\\
&+ 0{,}0082\cos 2D + 0{,}0030\cos 2l +\\
&+ 0{,}0009\cos(l + 2D) + 0{,}0006\cos(l' - 2D) +\\
&+ 0{,}0004\cos(l + l' - 2D) + 0{,}0003\cos(l - l'),
\end{aligned}\right\} \quad (1.94)$$

В этих формулах для λ и β отброшены по сравнению с точными (содержащими каждая по нескольку сотен членов) такие члены, которые имеют коэффициенты меньше $100''$ ($0^\circ,028$), а в формуле для Q отброшены члены с коэффициентами меньше 0,0003.

Угол $\bar{L}$ — осредненная (т. е. освобожденная от периодических возмущений) средняя долгота Луны в орбите. Углы l, l', D, F называются основными аргументами в теории движения Луны, причем

l — осредненная средняя аномалия Луны,

l' — » » аномалия Земли $+180^\circ$,

D — » разность средних долгот Луны и Солнца,

F — » средняя долгота Луны, отсчитываемая от восходящего узла орбиты.

Выражения для основных аргументов, выведенные по многолетним наблюдениям в сочетании с теорией, следующие:

$$\left.\begin{aligned} \bar{L} &= 57^\circ,787 + 13^\circ,176396t - 4'',08T^2, \\ l &= 208^\circ,999 + 13^\circ,064992t + 33'',01T^2, \\ l' &= 357^\circ,508 + 0^\circ,985600t - 0'',54T^2, \\ D &= 138^\circ,199 + 12^\circ,190749t - 5'',17T^2, \\ F &= 45^\circ,648 + 13^\circ,229350t - 11'',56T^2, \end{aligned}\right\} \qquad (1.95)$$

где t — время в средних солнечных сутках, а T — время в юлианских годах, отсчитываемые от эпохи 1950,0 (см. (1.90)).

Формула для $\bar{L}$ включает в себя влияние прецессии. Поэтому находимые согласно (1.94) и (1.95) координаты λ и β на какой-либо момент t отнесены к эклиптике и средней точке ♈ этого же момента.

Коэффициент при T в выражении для $\bar{L}$, если его уменьшить, освободив от влияния прецессии, равен среднему движению Луны $n_☾$, выведенному по многолетним наблюдениям. В градусах за средние солнечные сутки $n_☾ = 13^\circ,176358$.

Различные члены в формуле для λ характеризуют отклонение от равномерного движения Луны с угловой скоростью $n_☾$ и называются *неравенствами*. Неравенства с наибольшими амплитудами (первые пять) были обнаружены еще древнегреческими астрономами. Неравенства (1) обусловлены только эллиптичностью невозмущенной орбиты. Неравенства (2), (3), (4) обусловлены возмущениями от Солнца и носят названия *эвекции*, *вариации* и *годичного неравенства* соответственно.

Более полно можно ознакомиться с теориями движения планет и Луны в книгах: П. Эскобал «Методы астродинамики», «Мир», 1971 (перев. с англ.), «Справочное руководство по небесной механике и астродинамике» под ред. Г. Н. Дубошина,

«Наука», 1971, Ю. А. Рябов «Движения небесных тел», Физматгиз, 1962.

Движение астероидов (малых планет). Если нарисовать план Солнечной системы, то большинство астероидов располагается в своем движении между орбитами Марса и Юпитера. Астероидами (по-гречески «звездоподобными») эти небесные тела названы потому, что в телескоп они по своему виду не отличаются от звезд. Название «малые планеты» они получили по той причине, что как по характеру своего движения вокруг Солнца, так и видимого движения по небу они близки к планетам, но по своим размерам они гораздо меньше планет. Самые большие астероиды имеют в диаметре от 200 до 800 *км*.

Как и в случае планет, движение астероидов вокруг Солнца приближенно представляется невозмущенными эллиптическими орбитами. В настоящее время определены элементы невозмущенных орбит почти для 1800 астероидов; эти астероиды зарегистрированы, т. е. им присвоено название или номер. Всего наблюдалось значительно бóльшее число астероидов, однако их невозмущенные орбиты остались без определения.

Орбиты многих астероидов, в отличие от планетных орбит, обладают довольно большими эксцентриситетами и наклонениями (до 0,15—0,20 и до 20—30° соответственно). Кроме того, астероиды испытывают гораздо более сильные возмущения, чем планеты. Видимые отклонения на небе от невозмущенных положений на протяжении десяти — двадцати лет измеряются десятками минут и градусами.

Ввиду малой яркости астероидов они наблюдаются обычно только вблизи моментов противостояний с Солнцем. Поэтому надо уметь вычислять моменты противостояний, что выполняется на основании сведений об орбите того или иного астероида.

Промежуток времени между последовательными противостояниями равен синодическому периоду обращения астероида.

Рис. 31. Участок невозмущенной орбиты любого тела вблизи Солнца.

Движение комет. В первом приближении рассматривают невозмущенное движение кометы, т. е. такое, которое соответствует решению задачи двух тел: Солнце — комета. При анализе возмущенного движения комет учитывают главным образом возмущающее действие планет.

Задача двух тел допускает решения, соответствующие движениям по эллипсам, параболам или гиперболам с фокусом в Солнце. Параболы и гиперболы являются, в отличие от эллипсов, незамкнутыми кривыми. Тело, движущееся по параболе или гиперболе, может лишь однажды приблизиться к Солнцу, а затем оно удаляется от него навсегда. На рис. 31 изображен

участок любой орбиты вблизи фокуса S (Солнца). Точка Π — перигелий орбиты, ΠS — перигелийное расстояние q, длина перпендикуляра SN к ΠS — параметр орбиты p. Отношение $\frac{p-q}{q}$ равно эксцентриситету орбиты e. Для эллипса $e < 1$, для параболы $e = 1$ $\left(q = \frac{p}{2}\right)$ и для гиперболы $e > 1$. Радиус-вектор r любой точки Q орбиты связан с p, e и углом $\Pi SQ = v$ (*истинной аномалией*) формулой

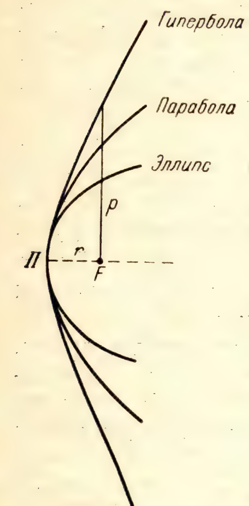


Рис. 32. Эллипс, парабола и гипербола.

$$r = \frac{p}{1 + e\cos v}. \qquad (1.96)$$

Если мы сравним три типа орбит, имеющих общий фокус S и одинаковое перигелийное расстояние q, то эллиптическая орбита обладает наименьшим параметром (рис. 32).

При движении по какой-либо орбите скорость движения V в любой точке Q связана с радиусом-вектором r соотношением известным как *интеграл энергии*,

$$V^2 = \frac{2k^2 M_\odot}{r} + h, \qquad (1.97)$$

где k^2 — постоянная тяготения, $M_\odot$ — масса Солнца и h — *постоянная энергии*. Каждая орбита отличается своим значением постоянной энергии. Для всех эллиптических орбит $h < 0$, параболических — $h = 0$ и гиперболических — $h > 0$. Скорость

$$V_{\text{пар}} = k\sqrt{\frac{2M_\odot}{r}} \qquad (1.98)$$

называется *параболической* на расстоянии r от Солнца, а скорости, бо́льшие или меньшие $V_{\text{пар}}$, называются соответственно *гиперболическими*, или *эллиптическими*. Если считать $M_\odot = 1$ и выразить r в а. е., то

$$V_{\text{пар}} = 29{,}785\sqrt{\frac{2}{r}}\ \textit{км/час} = 0{,}017202\sqrt{\frac{2}{r}}\ \text{а. е./сутки}. \qquad (1.99)$$

Угловые элементы параболической и гиперболической орбит те же, что и для эллиптической: i, ☊, ω или π. Остальные элементы гиперболической орбиты: перигелийное расстояние q, эксцентриситет e, момент прохождения через перигелий τ; параболической орбиты: q и τ (эксцентриситет $e = 1$).

К настоящему времени известно около 600 различных комет. Для большинства из них невозмущенные орбиты — конические сечения с эксцентриситетом между 0,94 и 1,03, т. е. параболы

или гиперболы, близкие к параболам, или очень вытянутые эллипсы. Такие кометы называются *параболическими*, *гиперболическими* или *долгопериодическими* соответственно. (Движения по эллиптическим орбитам с e, близким к 1, обладают очень большим периодом. За несколькими исключениями, долгопериодические кометы наблюдались астрономами только по одному разу, когда они проходили вблизи перигелия своей орбиты, т. е. вблизи Солнца. Они появлялись на небе, затем исчезали с удалением от Солнца и пока не возвращались.)

Около 50 комет имеют эллиптические орбиты с умеренным эксцентриситетом. Это — *короткопериодические* кометы. Они наблюдались неоднократно, каждый раз, когда возвращались к перигелию своей орбиты. Самый короткий период, 3,3 года, у кометы Энке, наблюдавшейся с 1818 г.

Встречаются кометы с обратным движением вдоль орбиты, т. е. противоположным направлению движения всех планет. Для таких комет наклон орбиты к эклиптике $90 < i < 180°$.

§ 18. Движение искусственных небесных тел

Искусственные небесные тела — это космические аппараты, выведенные в космическое пространство и движение которых по своим орбитам подчиняется главным образом естественным силам (притяжение со стороны Солнца, Земли и других планет, Луны, сопротивление атмосферы Земли, световое давление Солнца и др.). К искусственным небесным телам относятся *искусственные спутники Земли* (ИСЗ), *искусственные спутники Луны* (ИСЛ), а также других планет, *автоматические межпланетные станции* (АМС), направляемые к Луне или к планетам. Космические аппараты бывают управляемыми с помощью реактивных двигателей на борту. Силы двигателей позволяют существенно изменять в ходе движения орбиту, хотя по величине они значительно меньше, чем совокупность естественных сил.

Запуск искусственных небесных тел производится с помощью автоматически управляемых многоступенчатых ракет. От старта до некоторой расчетной точки в пространстве ракета движется за счет тяги реактивных двигателей. Это — *активный участок движения*. Когда работа двигателей прекращается, запускаемый аппарат автоматически отделяется от ракеты и начинает *пассивное движение* (под действием лишь естественных сил) по некоторой орбите, становясь искусственным небесным телом. Положение и скорость космического аппарата в этот момент выхода на орбиту представляют собой *начальные данные* для определения этой орбиты.

Первые ИСЗ запущены в 1957 г. в СССР, первая АМС — в СССР в январе 1959 г. Пройдя вблизи Луны, она стала первой искусственной малой планетой Солнечной системы. С тех пор в СССР и в США запущено на 1 мая 1970 г. более 1000 ИСЗ и

70 АМС. Списки запускаемых в СССР космических аппаратов ежегодно приводятся в Астрономическом Календаре.

Искусственные спутники Земли. В первом приближении движение ИСЗ невозмущенное эллиптическое, соответствующее решению задачи двух тел: Земля — спутник. При этом Земля предполагается однородным шаром, а спутник — материальной точкой с бесконечно малой массой. Справедливы все формулы эллиптического движения (1.82) — (1.89), в которых масса спутника полагается равной нулю, а масса Солнца $M_{\odot}$ заменяется на массу Земли $m_{\oplus}$. Обычно при измерении расстояний и времени в задачах о движении ИСЗ используют метрическую систему единиц. При использовании метра и секунды произведение постоянной тяготения k^2 на $m_{\oplus}$, называемое *геоцентрической постоянной тяготения*, принимается равным $3{,}98603 \cdot 10^{14}$ *м³/сек²*.

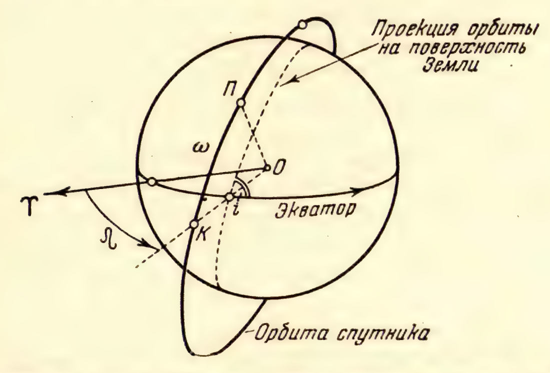


Рис. 33. Эллиптическая орбита ИСЗ в пространстве вокруг Земли. Стрелками указаны направление отсчета углов вдоль экватора и направление движения спутника.

Схема эллиптической орбиты ИСЗ изображена на рис. 33. Угловые элементы ☊ (долгота восходящего узла), ω (угловое расстояние перигея от узла), i (наклон) отнесены к экватору и точке равноденствия ϒ; OK — направление из центра Земли на восходящий узел орбиты, $П$ — перигей орбиты, противоположная точка орбиты — апогей, ☊ $= \angle ϒOK$, $\omega = KOП$.

Эллиптическая орбита ИСЗ целиком определяется начальными (т. е. в момент выхода на орбиту) положением и скоростью. Начальная высота h_0 над поверхностью Земли равна обычно 200—300 *км*, реже 400 *км*. До такой высоты простирается обычно активный участок движения ракеты-носителя.

Пусть начальное расстояние до центра Земли равно r_0, а начальная скорость V_0 направлена строго горизонтально (перпендикулярно к направлению на центр Земли) и равна

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{k^2 m_{\oplus}}{r_0}} = 7905{,}38 \sqrt{\frac{R}{r_0}} \ м/сек, \qquad (1.100)$$

где R — экваториальный радиус Земли (6378,160 *км*). Тогда орбита спутника — круговая с радиусом r_0 (рис. 34) и постоянной скоростью $V_{кр}$. Такая скорость носит название *круговой* (отсюда обозначение $V_{кр}$) на расстоянии r_0 от центра Земли.

Пусть начальная скорость V_0 превышает круговую, но направлена также горизонтально. Тогда орбита спутника эллиптическая. Перигей совпадает с начальным положением

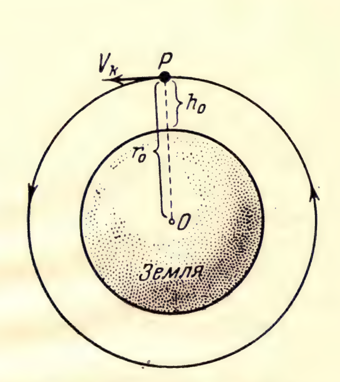


Рис. 34. Круговая орбита ИСЗ.

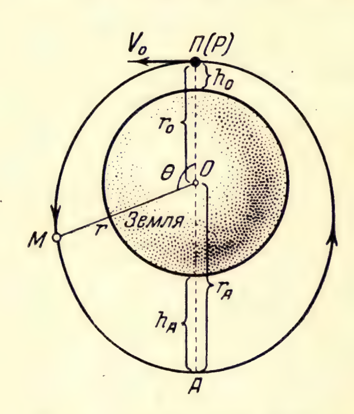


Рис. 35. Эллиптическая орбита ИСЗ при горизонтальной начальной скорости v_0.

(рис. 35). Большая полуось a, эксцентриситет e и апогейное расстояние r_A связаны с r_0 и V_0 формулами

$$\frac{r_0}{a} = 2 - \left(\frac{V_0}{V_{кр}}\right)^2, \quad e = \left(\frac{V_0}{V_{кр}}\right)^2 - 1, \quad r_A = a(1+e). \qquad (1.101)$$

Перигейная (наименьшая) $h_П$ *высота* над поверхностью Земли совпадает с начальной высотой h_0, а *апогейная* (наибольшая) приближенно равна $h_A = r_A - R$, где R — радиус Земли. Период движения зависит только от a и равен

$$P = \frac{2\pi a^{3/2}}{\sqrt{k^2 m_\oplus}} = 84{,}489\left(\frac{a}{R}\right)^{3/2} \text{ мин}. \qquad (1.102)$$

Если скорость V_0 меньше круговой, то перигейная высота $h_П$ окажется меньше, чем h_0. При $h_0 \approx 200$—400 *км* весьма небольшое уменьшение (на 0,5—1%) V_0 по сравнению с $V_{кр}$ приводит к тому, что спутник попадает в низкие плотные слои атмосферы и «сгорает». Следовательно, необходимое практическое условие успешного запуска $V_0 \geqslant V_{кр}$, а $V_{кр}$ — практически наименьшая начальная скорость, при которой космический аппарат может выйти на орбиту спутника Земли. Поэтому

круговую скорость называют также *первой космической* *) (обозначают V_{I}).

Пусть начальная скорость V_0 направлена под углом ψ к горизонту. Тогда орбита спутника — эллиптическая с той же большой полуосью (она не зависит от направления скорости и определяется согласно (1.101)), но эксцентриситет орбиты e больше, а перигей смещен на угол w по отношению к начальному положению (рис. 36). Формулы для e, w, перигейного и апогейного расстояний следующие:

$$\left.\begin{aligned} e^2 = e_0^2 + (1 - e_0^2)\sin^2\psi, \quad \operatorname{tg} w = (1 + e_0)\frac{\operatorname{tg}^2\psi}{\operatorname{tg}^4\psi - e_0}, \\ r_П = r_0\frac{1 - e}{1 - e_0}, \quad r_A = r_0\frac{1 + e}{1 - e}, \end{aligned}\right\} \qquad (1.103)$$

где e_0 — значение эксцентриситета для случая $\psi = 0$, определяемое согласно (1.101). Перигейная высота $h_П$ меньше, чем начальная высота; приближенно $h_0 - h_П \approx r_0(e - e_0)$.

Рис. 36. Эллиптическая орбита ИСЗ в случае отклонения начальной скорости v_0 от горизонтального направления.

На высоте 150—160 *км* спутник тормозится в атмосфере настолько сильно, что он, не успевая сделать одного-двух оборотов вокруг Земли, снижается, попадает в еще более плотные слои атмосферы и «сгорает». Поэтому условие успешного запуска ИСЗ: $h_П > 150$—160 *км*. При $h_0 \approx 200$—300 *км* и $\psi \approx 1°$ имеем $h_0 - h_П \approx 100$ *км*, поэтому при таком отклонении направления начальной скорости от строго горизонтального запуск окажется неудачным.

Орбита на которую выводится ИСЗ непосредственно ракетой-носителем, бывает иногда лишь промежуточной. На борту ИСЗ в этих случаях имеются ракетные двигатели, которые по команде с Земли автоматически включаются на короткое время в определенные моменты. ИСЗ получает дополнительный практический мгновенный толчок (импульс) и переходит на другую орбиту.

Например, советские спутники связи типа «Молния» движутся по орбитам с высотами перигея и апогея около 400 и 40 000 *км* соответственно. Такой ИСЗ сначала выводится на почти круговую орбиту с высотой около 400 *км*. Затем в некото-

---

*) Некоторые авторы называют первой космической скоростью круговую скорость $V_{кр}$ у поверхности Земли (при $r_0 \approx R$), равную приближенно 7,91 *км/сек*.

рый момент ему сообщается импульс в горизонтальном направлении, после чего перигей остается на такой же высоте, а высота апогея увеличивается до требуемых 40 000 *км*.

Основные типы орбит запускавшихся ИСЗ:

Круговые и *близкие к круговым* (высоты $h_П$ и $h_А$ совпадают или отличаются сравнительно очень мало). Можно выделить близкие спутники ($h_П$ и $h_А$ равны нескольким сотням *км*), спутники на среднем расстоянии ($h_П$, $h_А$ — нескольким тысячам *км*) и далекие спутники ($h_П$, $h_А \sim 40\,000$ *км* и более).

Орбиты с умеренным эксцентриситетом, $e < 0{,}2$ (слабо эллиптические). Разность между $h_П$ и $h_А$ составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч *км*. Например, $h_П \approx 230$ *км*, $h_А \approx 1000$ *км* или $h_П \approx 300$ *км*, $h_А \approx 3000$ *км*.

Сильно эллиптические орбиты, для которых $h_А$ превышает $h_П$ во много раз. Например, $h_П \approx 400$ *км*, $h_А \approx 40\,000$ *км* ($e \approx 0{,}745$) или $h_П \approx 300$ *км*, $h_А \approx 80\,000$ *км* ($e = 0{,}856$).

По расположению орбит в пространстве выделяют спутники:

Экваториальные и близкие к ним с малым наклоном i к экватору (до 20—30°); имеющие средний наклон (50—60°), *полярные* и близкие к ним ($80° < i < 95°$).

Орбиты с $i > 90°$ наклонены к экватору под углом $90 - i$, но спутники движутся по ним в обратном направлении, поэтому они называются также спутниками с *обратным движением*.

Спутники, имеющие период обращения P, в целое число раз меньший или больший, чем период вращения Земли $P_0 = 23^h 56^m 4^s$ (звездные сутки), называются *синхронными*. Они интересны тем, что их видимое с Земли движение ежесуточно повторяется. Частным случаем синхронного является *суточный* спутник с $P = P_0$. Суточный экваториальный спутник, имеющий круговую орбиту, называется *стационарным*. Он расположен в пространстве всегда над одной и той же точкой экватора Земли.

Примеры синхронных ИСЗ с $P = P_0/2$ — советские спутники типа «Молния», стационарного — американский ИСЗ «Эрли Берд».

ИСЗ испытывают отклонения от невозмущенного движения вследствие сопротивления земной атмосферы, сжатия Земли (отличия притяжения Земли от ньютонианского притяжения шара), светового давления солнечных лучей, притяжения Луны и Солнца и др.

Для ИСЗ с высотами перигея до 500—600 *км* основными источниками возмущений являются первые два фактора.

Спутник, движущийся в земной атмосфере со скоростью V, испытывает торможение, определяемое приближенно формулой

$$\delta W_{\text{торм}} = 1{,}1\rho \frac{S}{m} V^2, \qquad (1.104)$$

где ρ — плотность атмосферы, S — площадь поперечного сечения спутника, m — его масса. Например, для спутника с массой 100 *кг* при $S = 1\,м^2$, движущегося на высоте $h \approx 230\,км$ ($\rho \approx 10^{-12}\,г/см^3$) со скоростью 8 *км/сек*, имеем $\delta W \approx 0{,}019\,см/сек^2$. При одной и той же массе спутник большего размера тормозится сильнее. Для спутников обычной конструкции, т. е. аппаратов сравнительно небольших, но снабженных большим количеством аппаратуры и, следовательно, тяжелых, сопротивление атмосферы играет заметную роль до высоты 500—600 *км*. Однако для спутников-баллонов типа «Эхо», имеющих сравнительно очень большие размеры и малую массу, сопротивление атмосферы заметно сказывается и на высоте около 1500 *км*.

Вследствие торможения ИСЗ постепенно теряет кинетическую энергию, снижается и в конце концов «сгорает» в плотных слоях атмосферы. Такие ИСЗ имеют, следовательно, ограниченный срок жизни. Для ИСЗ, у которых апогейная высота h_A превышает перигейную $h_П$ на несколько сотен и тысяч *км*, орбита постепенно «сокращается», становится все менее вытянутой; h_A уменьшается гораздо быстрее, чем $h_П$. Приближенные формулы для уменьшения a, e, P, $h_П$ и h_A за один оборот следующие:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\Delta a}{a} = K\left(1 + \frac{1}{8\nu} + 2e - \frac{3}{4}\frac{e}{\nu}\right)\sqrt{\frac{2\pi}{\nu}},\\
&\Delta e = K\left(1 - \frac{3}{8\nu} + e\right)\sqrt{\frac{2\pi}{\nu}}, \qquad K = 2{,}2\rho_П \frac{S}{m}a,\\
&\frac{\Delta P}{P} = \frac{3}{2}\frac{\Delta a}{a}, \qquad \frac{\Delta h_П}{a} = \frac{\Delta a}{a}(1 - e) - \Delta e,\\
&\frac{\Delta h_A}{a} = \frac{\Delta a}{a}(1 + e) + \Delta e,
\end{aligned}\right\} \tag{1.105}$$

где $\rho_П$ — плотность атмосферы на высоте $h_П$ перигея, $\nu = \frac{ae}{H}$, H — шкала высот, характеризующая распределение плотности атмосферы в зависимости от высоты ($H \approx 30$—$50\,км$ при $h_П \approx$ ≈ 200—$300\,км$).

Для спутников на круговой орбите

$$\frac{\Delta a}{a} \approx K \cdot 2\pi. \tag{1.106}$$

Имеются формулы, позволяющие вычислить продолжительность «жизни» t_L спутника. Например, с момента t_0, когда эксцентриситет и период равны e_0 и P_0,

$$t_L \approx \frac{3}{4}\frac{e_0 P_0}{\Delta P}, \tag{1.107}$$

где ΔP — суточное уменьшение периода, определяемое в момент t_0.

Фактически наблюдаемое изменение элементов орбиты ИСЗ обычно отличается от теоретического. Это происходит прежде всего по той причине, что атмосфера Земли находится в состоянии непрерывных изменений. Ее плотность на данной высоте все время изменяется вследствие многих факторов. Основные из них — суточный эффект (ночью, т. е. в конусе земной тени, плотность на данной высоте меньше, чем днем) и влияние солнечной активности (потоков заряженных частиц, выбрасываемых Солнцем). Из-за этого спутник тормозится то слабее, то сильнее по сравнению с теорией. Именно наблюдения ИСЗ позволили впервые четко установить факт больших колебаний плотности атмосферы и определить их количественно.

Возмущающее ускорение δW от сжатия Земли значительно больше по величине, чем торможение в атмосфере. Например, для ИСЗ, движущегося на высоте 230 *км*, имеем $\delta W \approx \approx 1{,}40$ *см/сек*^{2} (в 74 раза больше, чем $\delta W_{\text{торм}}$, приведенное выше). Однако изменений формы и размеров орбиты в среднем не происходит. Изменяется лишь положение орбиты в пространстве. Это выражается в постоянном смещении перигея орбиты и восходящего узла. За один оборот

$$\Delta\Omega = -0°{,}58\left(\frac{R}{a}\right)^2\frac{\cos i}{(1-e^2)^2}, \quad \Delta\omega = 0°{,}29\left(\frac{R}{a}\right)^2\frac{5\cos^2 i - 1}{(1-e^2)^2}, \qquad (1.108)$$

где R — экваториальный радиус Земли. Положительные значения $\Delta\Omega$, $\Delta\omega$ означают смещения узла и перигея в прямом направлении, отрицательные — в обратном.

Для ИСЗ с высотой перигея от 500—600 до нескольких тысяч *км* основным возмущающим фактором остается сжатие Земли, действующее аналогичным образом, хотя его влияние уменьшается пропорционально $\left(\frac{R}{a}\right)^2$. Другая существенная причина — давление солнечного света (вместо сопротивления атмосферы). Величина этого давления на площадку (полностью отражающую свет) σ *м*^{2} на расстоянии Δ а. е. от Солнца равна

$$F \approx 0{,}93\cdot 10^{-6}\left(\frac{1}{\Delta}\right)^2 \sigma\cos\alpha \ \text{кГ/м}^2, \qquad (1.109)$$

где α — угол падения солнечных лучей. Сферический спутник радиусом q *м* испытывает давление

$$F \approx 1{,}5\left(\frac{1}{\Delta}\right)^2 q^2 \ \text{кГ/м}^2. \qquad (1.109^*)$$

Возмущающее ускорение равно $\delta W_{\text{л}} = F/m$, где m — масса спутника. Например, для спутника-баллона «Эхо» ($q = 15$ *м*, $m = 68$ *кг*) имеем $\frac{1}{\Delta} \approx 1$, $\delta W_{\text{л}} \approx 0{,}005$ *см/сек*^{2}. Возмущающее же ускорение от сжатия Земли для «Эхо» ($a \approx 7900$ *км*) около 0,70 *см/сек*. Для спутников тяжелых и небольшого размера значения $\delta W_{\text{л}}$ намного меньше.

Влияние давления солнечных лучей выражается в появлении дополнительных периодических возмущений элементов орбиты ИСЗ. Если же спутник движется так, что регулярно попадает в конус земной тени, то имеют место также и небольшие вековые возмущения элементов.

Для далеких ИСЗ на расстояниях в несколько десятков тыс. *км* основные возмущения возникают из-за притяжения Луной и Солнцем. Характер возмущений такой же, как и возмущений самой Луны от Солнца (см. § 17, «Движение Луны»).

Автоматические межпланетные станции (АМС). АМС имеют начальную (в момент выхода на орбиту) скорость V_0, не меньшую, чем параболическая скорость относительно Земли:

$$V_{\text{пар}} = \sqrt{\frac{2k^2 m_{\oplus}}{r_0}} = 11{,}180 \sqrt{\frac{R}{r_0}} \text{ км/сек} \qquad (1.110)$$

(r_0 — начальное расстояние от центра Земли, R — ее экваториальный радиус). Такая скорость называется также *второй космической* *) (обозначается V_{II}). Невозмущенная орбита АМС относительно Земли является параболой (при $V_0 = V_{\text{пар}}$) или гиперболой (при $V_0 > V_{\text{пар}}$). Двигаясь по отрезку почти параболической или гиперболической орбиты, АМС удаляется от Земли настолько, что на дальнейшее ее движение влияет уже, главным образом, сила притяжения не Земли, а Солнца (если исключить АМС, направляемые к Луне). Говорят, что тогда АМС покидает сферу действия Земли. Радиус этой сферы около 930 тыс. *км*. Скорость АМС относительно Земли (*геоцентрическая*) внутри этой сферы уменьшается по мере удаления АМС от Земли. На расстоянии r скорость равна в соответствии с интегралом энергии для геоцентрического движения

$$V = \sqrt{\frac{2k^2 m_{\oplus}}{r} + h}, \qquad (1.111)$$

где постоянная h вычисляется по начальным значениям r и V в момент выхода АМС на орбиту.

После выхода АМС из сферы действия Земли рассматривается движение АМС относительно Солнца (*гелиоцентрическое* движение). В первом приближении рассматривается невозмущенная гелиоцентрическая орбита.

На рисунке 37 P — положение АМС на границе сферы действия Земли (приближенно расстояние до Солнца 149,5 млн. *км*), V_1 — скорость АМС относительно Земли, а V_0 — скорость Земли на своей орбите. Гелиоцентрическая скорость V станции равна геометрической сумме V_1 и V_0.

---

*) Иногда второй космической скоростью называют параболическую скорость у поверхности Земли, равную примерно 11,2 *км/сек*.

Если V меньше параболической скорости (равной 42,3 *км/сек*) относительно Солнца, то невозмущенная орбита АМС — эллиптическая. Далее возможно: 1) АМС не сближается с какой-либо планетой, и тогда ее орбита напоминает орбиты астероидов. Отклонения от эллиптической орбиты (возмущения) обусловлены притяжением Земли и других планет; 2) АМС в своем

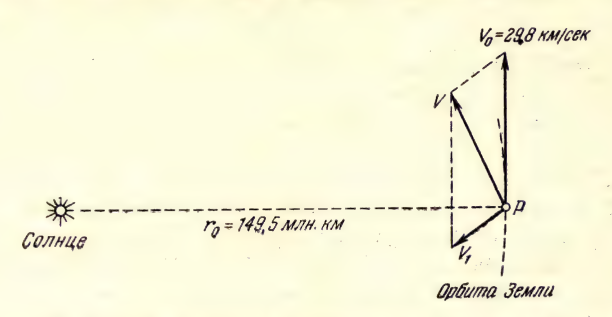


Рис. 37. Схема сложения скоростей при выходе АМС на орбиту вокруг Солнца.

движении по отрезку почти эллиптической орбиты сближается с одной из планет Солнечной системы. Тогда говорят, что имеет место перелет с Земли на эту планету.

При расчете межпланетных орбит перелета возникает вопрос о выборе наиболее выгодных (*оптимальных*) орбит. Часто рассматривают энергетически оптимальные орбиты (соответствующие наименьшей геоцентрической начальной скорости АМС в момент достижения границы сферы действия Земли), называемые *гомановскими*. На рис. 38 указана такая орбита перелета на Марс. Эта орбита касается орбит Земли и Марса, предполагаемых для простоты круговыми с радиусами $r_{\oplus} = 149,6$ млн. *км* и $r_{♂} = 227,9$ млн. *км* соответственно и лежащими в одной плоскости. На рисунке нанесена жирной линией половина этой орбиты, составляющая саму траекторию перелета. В момент t_0 Земля находится в точке *1*. Положение АМС, находящейся на границе сферы действия Земли, практически совпадает на рис. 38 с точкой *1*. Гелиоцентрическая скорость АМС V направлена так же, как и скорость самой Земли V_0 (она равна 29,78 *км/сек*), по касательной к орбите Земли. Величина ее соответствует гелиоцентрической орбите с афелием в точке *2* орбиты Марса и большой полуосью, равной половине расстояния между точка-

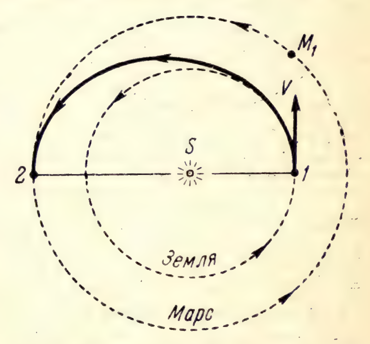


Рис. 38. Траектория перелета на Марс с наименьшей геоцентрической скоростью.

ми *1* и *2*. Таким образом, $a = (r_{\oplus} + r_{♂})/2$, и, используя формулу (1.101), мы получим

$$\left(\frac{V}{V_0}\right)^2 = \frac{2}{1 + \dfrac{r_{\oplus}}{r_{♂}}}. \qquad (1.112)$$

Отсюда $V = 32{,}72$ *км/сек*. Геоцентрическая скорость АМС при этом равна $V_1 = V - V_0 = 2{,}94$ *км/сек*. Эксцентриситет этой орбиты равен $e = 0{,}16$. Далее надо подобрать момент запуска так, чтобы АМС и Марс, двигаясь по своим орбитам, одновременно достигли точки встречи *2*. Это тот момент, когда Марс находится в точке M_1. Дугу своей орбиты от M_1 до *2* Марс проходит за 237^d. Это — время перелета.

Если геоцентрическая скорость в момент выхода АМС на границу сферы действия Земли $V_1 < 2{,}94$ *км/сек*, то ни при каком направлении V_1 нельзя получить гелиоцентрическую орбиту, достигающую орбиты Марса.

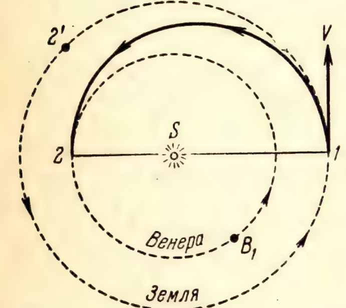
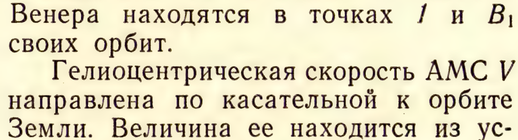


Рис. 39. Траектория перелета на Венеру с наименьшей геоцентрической начальной скоростью.

На рисунке 39 приведена аналогичная энергетически оптимальная гомановская траектория перелета с Земли на Венеру. Опять предполагаем для простоты, что орбиты планет —  круговые с радиусами $r_{\oplus}$ и $r_{♀} = 108{,}2$ млн. *км*. В момент t_0 Земля и Венера находятся в точках *1* и B_1 своих орбит.

Гелиоцентрическая скорость АМС V направлена по касательной к орбите Земли. Величина ее находится из условия, что перигелий гелиоцентрической орбиты АМС находится в точке *2* и что ее большая полуось равна $a = (r_{\oplus} + r_{♀})/2 = 128{,}9$ млн. *км*. Мы получим $V = 27{,}28$ *км/сек*. Геоцентрическая скорость равна $V_1 = V_0 - V = 2{,}50$ *км/сек* и направлена противоположно скорости Земли. Через $146—147^d$ АМС и Венера одновременно достигнут точки *2*. Земля будет находиться в этот момент в точке *2'*.

Если $V_1 < 2{,}50$ *км/сек*, то ни при каком направлении V_1 траектория АМС не достигает орбиты Венеры.

Недостаток гомановских траекторий заключается в большой продолжительности перелета. Кроме того, Земля в момент возможной встречи АМС с планетой находится очень далеко от них. Например, в случае перелета на Венеру, расстояние от точки *2* до точки *2'* в момент встречи АМС и Венеры составит около 90 млн. *км*. В то же время наименьшее возможное расстояние между Землей и Венерой равно около 40 млн. *км*.

На рисунке 40 показана траектория перелета, близкая к траекториям советских АМС «Венера-2», «Венера-3», запущенных в 1965 г. Геоцентрическая скорость АМС на границе сферы действия Земли равна $V_1 \approx 3{,}44$ *км/сек* и направлена примерно под указанным углом к V_0. Продолжительность перелета 105^d, в момент встречи АМС и Венеры расстояние АМС от Земли около 70 млн. *км*.

Указанные траектории являются, конечно, весьма приближенными. Они дают лишь общее представление о фактических траекториях перелета. При расчете последних учитываются истинные орбиты планет, отклонения движения АМС от невозмущенного эллиптического и т. д.

Рис. 40. Траектория перелета АМС на Венеру, близкая к реальной.

Обычно АМС выводятся на параболическую или гиперболическую геоцентрическую орбиту не непосредственно, а сначала последняя ступень ракеты-носителя вместе с запускаемой АМС выводится на орбиту спутника Земли. Затем в определенный момент двигатель ракеты включается по команде с Земли и ракета, достигнув скорости 11 *км/сек*, выводит АМС на расчетную параболическую или гиперболическую орбиту. Говорят, что АМС *стартует с борта тяжелого спутника* или *стартует с околоземной орбиты*. Такой тип запуска обладает рядом преимуществ с точки зрения выбора момента запуска и точности вывода на орбиту.

При межпланетных перелетах существенное значение имеет *коррекция* орбит, поскольку вывести АМС абсолютно точно на расчетную орбиту практически невозможно. Ошибки в положении и в скорости в момент вывода на гелиоцентрическую орбиту неизбежны, что приводит к отклонениям АМС от расчетной орбиты. Например, ошибка в величине скорости на 1 *м/сек* (меньше 0,01%) при перелете на Венеру по орбитам, приведенным выше, приводит к «промаху» в 50 тыс. *км* или более. Поэтому на АМС устанавливают двигатели, и коррекция орбиты заключается в том, что эти двигатели по радиокоманде с Земли автоматически включаются на короткое время (порядка нескольких десятков секунд). Станции сообщается практически мгновенный дополнительный импульс скорости δV, что приводит к изменению орбиты. При выполнении коррекции требуется: а) по наблюдениям АМС определить фактическую орбиту и ее отклонение от расчетной, б) теоретически вычислить, когда и как следует изменить скорость АМС, чтобы перевести АМС на требуемую орбиту.

Траектории полета к Луне и искусственные спутники Луны. В случае полетов к Луне достаточно вывести АМС на очень вытянутую эллиптическую орбиту относительно Земли с апогеем, достигающим орбиты Луны или лежащим за ее пределами. Обычно АМС стартует с околоземной орбиты. Наименьшая возможная стартовая скорость АМС на высоте 200 *км* над поверхностью Земли 10,918 *км/сек*. Тогда апогей геоцентрической орбиты находится на расстоянии около 384 тыс. *км* от центра Земли (достигает орбиты Луны). Период движения по такой орбите около 10^d, так что полет до Луны продолжается около 5^d. При стартовой скорости 10,93 *км/сек* (вторая космическая на этой высоте равна 11,009 *км/сек*) апогей находится на расстоянии около 434 тыс. *км*, и мы получим облетную траекторию, когда АМС огибает Луну и возвращается к Земле.

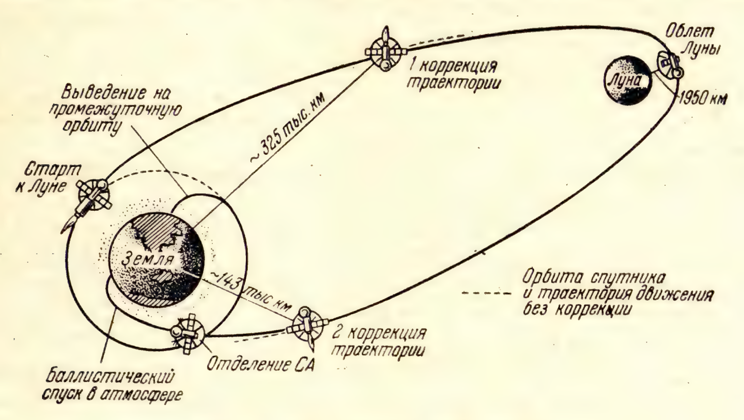


Рис. 41 Схема перелета АМС «Зонд-5».

Полет до ближайшей окрестности Луны продолжается тогда $3^d,5$. Примерно такими были траектории движения советских АМС «Зонд-5», «Зонд-6», совершивших облет Луны в 1968 г. (рис. 41).

При таких полетах необходима коррекция первоначальной орбиты.

Пусть, например, расчетная стартовая скорость АМС на высоте 200 *км* равна $V_0 = 10{,}920$ *км/сек*. Тогда апогей расположен примерно в 7500 *км* за орбитой Луны. Расчетная скорость в апогее около 170 *м/сек*. Ошибка в стартовой скорости на $\pm 0{,}5$ *м/сек* (0,005%) по величине и $\pm 10'$ по направлению приводит к изменению апогейного расстояния примерно на 2000 *км*. На расстоянии около 300 тыс. *км* от Земли проводится коррекция. Скорость АМС тогда около 700 *м/сек*. Дополнительный импульс скорости около 50 *м/сек* по величине. Этот импульс должен «возвратить» апогей орбиты в расчетную точку. Корректирующая скорость также может обладать ошибкой. Если эта

ошибка не превосходит $\pm 0,5$ *м/сек* по величине и $\pm 1°$ по направлению, то отклонение апогея от расчетного расстояния находится в пределах около ± 300 *км*.

Приблизившись к Луне на расстояние около 66 000 *км*, АМС входит в сферу действия Луны. Внутри этой сферы рассматривается не геоцентрическое, а *селеноцентрическое* (т. е. относительно Луны) движение. Селеноцентрическая скорость АМС $V_с$ равна геометрической сумме его геоцентрической скорости $V_г$ и орбитальной скорости Луны $V_☾$ ($\approx 1,02$ *км/сек*). На границе сферы действия Луны $V_г \approx 0,2$ *км/сек* и $V_с$ оказывается не меньшей, чем 0,8 *км/сек*. Параболическая скорость относительно Луны на расстоянии r от центра Луны равна

$$V_{пар} = \sqrt{\frac{2K_☾}{r}} = 2,38\sqrt{\frac{R_☾}{r}} \text{ км/сек}, \qquad (1.113)$$

где $R_☾ = 1738$ *км* — радиус Луны, $K_☾ = 4,903 \cdot 10^{12}$ *м³/сек²* — *геоцентрическая постоянная Луны* (равная произведению постоянной тяготения на массу Луны). При $r = 66\,000$ *км* имеем $V_{пар} = 0,38$ *км/сек*. Следовательно, селеноцентрическая скорость АМС (0,8 *км/сек*) значительно превышает $V_{пар}$ и АМС должна обогнуть Луну, двигаясь относительно нее по гиперболе. Луна своим притяжением изменяет прежнюю геоцентрическую эллиптическую орбиту АМС, как бы «заворачивает» ее к себе и увеличивает ее скорость (рис. 42). В данном примере минимальное расстояние АМС до центра Луны уменьшится с 7500 до 3500 *км*. Скорость АМС относительно Луны достигнет около 1 *км/сек* (вместо 170 *м/сек* на невозмущенной геоцентрической орбите). Обогнув Луну, АМС удалится от Луны и после достижения расстояния 66 000 *км* от центра Луны выйдет из сферы ее действия. Мы будем опять рассматривать геоцентрическое движение АМС, но по другой эллиптической орбите по сравнению с орбитой на пути к Луне.

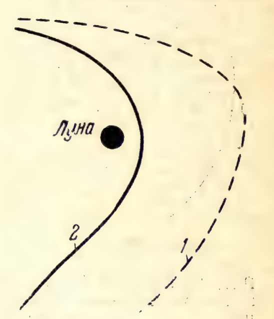


Рис. 42. Траектория АМС вблизи Луны. *1* — геоцентрическая эллиптическая орбита АМС без учета притяжения Луны; *2* — гиперболическая относительно Луны орбита АМС с учетом притяжения Луны.

АМС, движущиеся по облетным траекториям, могут быть переведены с помощью дополнительных импульсов скорости на орбиту спутников Луны. Для этого приблизительно в тот момент, когда АМС, огибая Луну, проходит точку наибольшего сближения с Луной, включается тормозная установка, сообщающая тормозной импульс δV в направлении, противоположном движению (рис. 43). После торможения АМС приобретает эллиптическую скорость относительно Луны и в дальнейшем движется вокруг Луны по эллиптической орбите, став спутником

Луны. Эта орбита аналогична орбитам спутников вокруг Земли. Справедливы все формулы, приводимые для геоцентрического движения, если заменить геоцентрическую гравитационную постоянную $k^2 m_{\oplus}$ на $K_{☾}$. Круговая селеноцентрическая скорость и период обращения определяются, в частности, формулами

$$\left.\begin{aligned} V_{\text{кр}} &= \sqrt{\frac{K_{☾}}{r}} = 1{,}68\sqrt{\frac{R_{☾}}{r}}\ \textit{км/сек}, \\ T &= \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{K_{☾}}} = 108{,}4\left(\frac{r}{R_{☾}}\right)^{3/2}\textit{мин.} \end{aligned}\right\} \quad (1.114)$$

Например, АМС «Луна-10» (1966 г.), огибая Луну, достигла минимального расстояния около 2740 *км* от центра Луны и имела в этот момент селеноцентрическую скорость около 2,1 *км/сек*. На таком расстоянии $V_{\text{кр}} = 1{,}34$ *км/сек* и $V_{\text{пар}} = 1{,}89$ *км/сек*. Тормозной импульс был равен около 0,85 *км/сек*; скорость АМС уменьшилась до 1,25 *км/сек*, и АМС перешла на эллиптическую орбиту вокруг Луны.

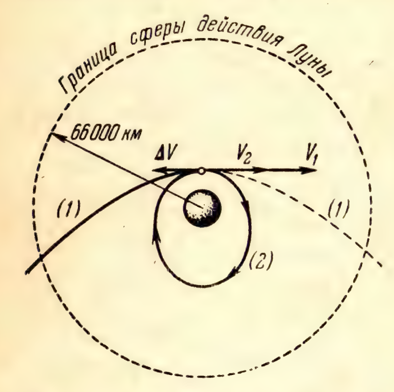


Рис. 43. Переход АМС на орбиту спутника Луны. V_1 — скорость АМС в перицентре гиперболической селеноцентрической орбиты (*1*); ΔV — тормозящий импульс; V_2 — скорость АМС после торможения, после чего АМС переходит с орбиты *1* на орбиту *2* спутника Луны.

Принцип запуска искусственных спутников других планет аналогичен.

Более подробно о межпланетных орбитах, полетах к Луне и искусственных спутниках Луны можно прочитать в книгах: П. Эскобал, «Методы астродинамики», перев. с англ., «Мир», 1971; В. И. Левантовский, «Механика космического полета в элементарном изложении», «Наука», 1970; Е. А. Гребеников, В. Г. Демин, «Межпланетные перелеты», «Наука», 1965.

§ 19. Вычисление эфемерид

Эфемеридой небесного тела называется таблица, в которой приведены вычисленные на основании теории, т. е. предсказываемые, положения этого тела на небесной сфере для различных моментов времени. Обычно приводятся геоцентрические координаты α, δ или λ, β. При составлении как можно более точных эфемерид по возможности учитывают возмущения. Приближенные эфемериды составляются на основании известных элементов невозмущенной орбиты данного тела. Мы рассмотрим ниже методику вычислений именно в этом случае.

В настоящее время в связи с задачами анализа движения искусственных небесных тел часто возникает необходимость вычислений не только видимых положений, но также таких характеристик траектории движения, как скорость и компоненты скорости небесного тела на различные моменты. Мы рассмотрим этот вопрос здесь же.

Вычисление эфемериды по элементам эллиптической орбиты. Пусть даны элементы невозмущенной эллиптической орбиты небесного тела вокруг Солнца a, e, i, ω, Ω, а также средняя аномалия M_0 на момент t_0, причем угловые элементы отнесены к некоторой эпохе T_0 (т. е. к эклиптике и точке равноденствия ♈ этой эпохи). Требуется вычислить геоцентрические небесные координаты на некоторый момент t, отнесенные к той же эпохе.

1. Вычисляем прямоугольные геоцентрические координаты Солнца $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$ (экваториальные или эклиптические) на момент t, отнесенные к эпохе T_0.

Таблицы таких экваториальных координат на начало каждого дня, отнесенных к эпохе 1950,0 или к эклиптике и средней точке ♈ начала соответствующего года, приводятся в Астрономическом Ежегоднике СССР. Там же имеются аналогичные таблицы значений расстояний $\rho_\odot$ от Земли до Солнца, а также эклиптических долготы $\lambda_\odot$ и широты $\beta_\odot$ Солнца. Эклиптические координаты $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$ вычисляются по формулам

$$X_\odot = \rho_\odot \cos\lambda_\odot \cos\beta_\odot, \quad Y = \rho_\odot \sin\lambda_\odot \cos\beta_\odot, \quad Z_\odot = \rho_\odot \sin\beta_\odot. \tag{1.115}$$

Если ограничиться точностью 0,00001, то в этих формулах можно положить $\beta_\odot = 0$.

В Астрономическом Календаре приводится только эклиптическая долгота Земли $\lambda_\oplus$, причем на моменты с интервалом в 16 дней и отнесенная к эклиптике и среднему равноденствию начала соответствующего года; точность 0°,05. Путем интерполяции можно найти с такой же точностью значение $\lambda_\oplus$ на любой момент, а затем и $\lambda_\odot = \lambda_\oplus + 180°$. С точностью до 0,01 а. е. имеем $\rho_\odot = 1$ а. е. (изменяется в течение года от 0,983 до 1,017 а. е.). Более точные значения $\lambda_\odot$, $\rho_\odot$ (в а. е.) можно вычислить самостоятельно по формулам

$$\left.\begin{aligned} \rho_\odot &= 1 - 0{,}0167\cos l' + 0{,}0003\sin^2 l', \\ \lambda_\odot &= L' + 1°{,}914\sin l' + 0°{,}020\sin 2l', \end{aligned}\right\} \tag{1.116}$$

где l' определяется согласно (1.95), $L' = L + 180°$ и L — средняя долгота Земли в орбите, определяемая согласно формулам на стр. 68. Мы получим значение $\lambda_\odot$, отнесенное к эклиптике и средней точке ♈ данного момента. Введя далее поправку за прецессию, найдем $\lambda_\odot$, а затем по формулам (1.115) при $\beta_\odot = 0$ $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$, отнесенные к эпохе T_0.

2. По формуле (1.84) вычисляем среднее движение n°, а затем среднюю аномалию M на момент t:

$$M = M_0 + n^\circ (t - t_0) \tag{1.117}$$

(для астероидов, комет полагаем в (1.84*) $m = 0$; для планет учитываем значение m).

3. Решаем уравнение Кеплера:

$$E - e \sin E = M. \tag{1.118}$$

При этом надо выразить безразмерную величину e в градусах, т. е. заменить ее на $e^\circ = 57^\circ{,}295\,780\, e$.

Это уравнение можно решать методом последовательных приближений. Первое приближение:

$$E_1 = M + \frac{e^\circ \sin M}{1 - e \cos M}. \tag{1.119}$$

Второе приближение:

$$E_2 = E_1 - \frac{E_1 - e^\circ \sin E_1 - M}{1 - e \cos E_1} \tag{1.119*}$$

и т. д. Два последующие приближения E_k и E_{k-1} должны совпасть в пределах заданной точности.

4. Вычисляем величины ξ, η и радиус-вектор r:

$$\left.\begin{aligned} \xi = a(\cos E - e), \quad \eta = a\sqrt{1 - e^2} \sin E, \\ r = a(1 - e \cos E). \end{aligned}\right\} \tag{1.120}$$

Величины ξ, η называются орбитальными прямоугольными координатами. Это — прямоугольные координаты в плоскости орбиты, причем начало координат в Солнце, ось $S\xi$ направлена к перигелию, а ось $S\eta$ повернута на 90° по направлению движения тела. Если найти по формуле (1.83) истинную аномалию v, то

$$\xi = r \cos v, \quad \eta = r \sin v. \tag{1.121}$$

5. Вычисляем гелиоцентрические прямоугольные эклиптические координаты,

$$x = P_1\xi + Q_1\eta, \quad y = P_2\xi + Q_2\eta, \quad z = P_3\xi + Q_3\eta, \tag{1.122}$$

где

$$\left.\begin{aligned} P_s = A_s \cos\omega + B_s \sin\omega, \quad Q_s = B_s \cos\omega - A_s \sin\omega \quad (s = 1, 2, 3), \\ A_1 = \cos\Omega, \quad B_1 = -\sin\Omega \cos i, \\ A_2 = \sin\Omega, \quad B_2 = \cos\Omega \cos i, \\ A_3 = 0, \qquad B_3 = \sin i. \end{aligned}\right\} \tag{1.123}$$

Если мы хотим вычислить гелиоцентрические экваториальные координаты $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$, то можно использовать (1.122), заменив P_s, Q_s на $\bar{P}_s$, $\bar{Q}_s$, $s = 1, 2, 3$, причем

$$\left.\begin{aligned} \bar{P}_1 = P_1, \quad \bar{P}_2 &= P_2 \cos\varepsilon - P_3 \sin\varepsilon, \\ \bar{P}_3 &= P_3 \cos\varepsilon + P_2 \sin\varepsilon, \end{aligned}\right\} \tag{1.124}$$

где ε — наклон эклиптики к экватору (формулы для $\bar{Q}_s$ такие же).

Для контроля вычислений проверяем соотношения

$$P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 = Q_1^2 + Q_2^2 + Q_3^2 = 1, \quad P_1Q_1 + P_2Q_2 + P_3Q_3 = 0. \tag{1.125}$$

Если они не удовлетворяются, то это свидетельствует об ошибке, и вычисления надо провести заново.

По формулам (1.122) мы получим координаты на момент t, отнесенные к системе координат эпохи T_0.

6. Если мы имеем эклиптические координаты Солнца $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$, то по формулам (1.79) находим геоцентрические эклиптические координаты X, Y, Z, а затем по формулам (1.76*) — эклиптические координаты λ, β. Для определения экваториальных координат α, δ можно: а) найти экваториальные координаты Солнца $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$, а затем применить формулы (1.77), (1.77*), или б) вычислить согласно (1.78) по имеющимся эллиптическим координатам X, Y, Z экваториальные $\bar{X}$, $\bar{Y}$, $\bar{Z}$ и применить затем формулы (1.77*).

Таким путем мы найдем координаты λ, β или α, δ небесного тела на момент t, отнесенные к эпохе T_0. Если требуется найти координаты, отнесенные к эклиптике и точке ♈ другой эпохи, то следует ввести поправку за прецессию.

Аналогичным образом вычисляются координаты λ, β или α, δ на другие моменты t', t'', ..., что и позволяет получить эфемериду.

7. Для вычисления компонент скорости $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$ можно использовать формулы, аналогичные (1.122):

$$\dot{x} = P_1\dot{\xi} + Q_1\dot{\eta}, \quad \dot{y} = P_2\dot{\xi} + Q_2\dot{\eta}, \quad \dot{z} = P_3\dot{\xi} + Q_3\dot{\eta}, \tag{1.126}$$

где $\dot{\xi}$, $\dot{\eta}$ — компоненты скорости по осям $S\xi$, $S\eta$, равные

$$\dot{\xi} = -\frac{na^2}{r}\sin E, \quad \dot{\eta} = \frac{na^2\sqrt{1-e^2}}{r}\cos E \tag{1.127}$$

(n в радианах). Сама скорость равна

$$V = \sqrt{\dot{\xi}^2 + \dot{\eta}^2} \quad \text{или} \quad V = k\sqrt{1+m}\sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}}. \tag{1.128}$$

В случае малых эксцентриситета и наклона орбиты можно заменить вычисления в пп. 3—5 следующими.

Вычисляем гелиоцентрические сферические координаты r, λ', β':

$$\left.\begin{aligned}\lambda' = L + \left(2e - \frac{1}{4}e^3\right)\sin M + \frac{5}{4}e^2\sin 2M + \frac{13}{12}e^2\sin 3M - \\ - \gamma^2\sin(2L - 2\Omega) - 2\gamma^2 e\sin(2l - 2\Omega + M) + \\ + 2\gamma^2 e\sin(2L - 2\Omega - M), \\ \beta' = 2\gamma[(1 - e^2)\sin(L - \Omega) + e\sin(L - \Omega + M) - \\ - e\sin(\pi - \Omega) + \frac{9}{8}e^2\sin(L - \Omega + 2M) - \\ - \frac{1}{8}e^2\sin(L - \Omega - 2M) - \frac{1}{6}\gamma^2\sin(3L - 3\Omega)], \\ \frac{1}{r} = \frac{1}{a}\left[1 + \left(e - \frac{1}{8}e^3\right)\cos M + \left(e^2\cos 2M + \frac{9}{8}e^3\cos 3M\right)\right],\end{aligned}\right\} \quad (1.129)$$

где $\gamma = \sin\frac{i}{2}$, $L = \Omega + \omega + M$ — средняя долгота в орбите. В этих формулах отброшены по сравнению с более точными члены 4-го порядка относительно e и Υ и выше. По формулам, аналогичным (1.77), вычисляем далее гелиоцентрические прямоугольные эклиптические координаты x, y, z.

Пример 1. Даны элементы орбиты астероида:

$$\begin{aligned} a &= 2{,}7183 \\ e &= 0{,}29039 \\ i &= 10°8'10'' \\ \Omega &= 157°14'59'' \\ \omega &= 190°12'14'' \\ M_0 &= 350°0'36'' \text{ (эпоха } t_0 = 23^h46^m 16 \text{ августа 1936 г.).} \end{aligned}$$

Угловые элементы отнесены к эпохе 1936,0.

Требуется вычислить α и δ на момент t: 21^h43^m 17 сентября 1936 г. (пишут 1936 сентября 17^d,905 — в долях суток).

1. Экваториальные координаты Солнца $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$ на момент t, отнесенные к эпохе 1936,0, берем из Астрономического Ежегодника СССР. С точностью до 0,001 а. е.

$$X_\odot = -1{,}001, \quad Y_\odot = 0{,}084, \quad Z_\odot = 0{,}036.$$

2. Вычисляем среднее движение $n°$ согласно (1.84*) при $m = 0$. Получим $n = 0°{,}2199$. Дальнейшие вычисления ведем для простоты с небольшой точностью (три-четыре значащие цифры).

Находим M согласно (1.117), имея в виду, что $t - t_0 = 31^d{,}915$. Получим $M = -2°58' = -2°{,}97$.

3. Решаем уравнение Кеплера. Первое приближение согласно (1.119) равно $E_1 = -4°{,}18 = -4°11'$, а E_2 совпадает с E_1 с точностью до $0°{,}01$.

4. Вычисляем ξ, η, r согласно (1.120): $\xi = 1{,}92$, $\eta = 0{,}190$, $r = 1{,}93$.

5. Вычисляем $\bar{P}_s$, $\bar{Q}_s$, $s = 1, 2, 3$:

$$\begin{aligned} \bar{P}_1 &= 0{,}975, & \bar{Q}_1 &= 0{,}212, \\ \bar{P}_2 &= -0{,}189, & \bar{Q}_2 &= 0{,}951, \\ \bar{P}_3 &= -0{,}116, & \bar{Q}_3 &= 0{,}224. \end{aligned}$$

Далее находим $\bar{x} = 1{,}83$, $\bar{y} = -0{,}545$, $\bar{z} = -0{,}266$.

6. Геоцентрические координаты равны согласно (1.79): $X = 0{,}83$, $Y = -0{,}461$, $Z = -0{,}230$. Наконец, согласно (1,77*) $\alpha = 331° 0'$, $\delta = 13° 36'$. Это — координаты на момент t, отнесенные к эпохе 1936,0.

7. Вычислим также скорость V и компоненты скорости $\dot{\xi}$, $\dot{\eta}$ (1.127—1.128). Мы получим $n = 0{,}003\,838$ (в радианах) и $\dot{\xi} = 0{,}00107$, $\dot{\eta} = 0{,}0140$, $V = 0{,}0141$. Это — скорости в а. е. в сутки. Умножив их на $1/k = 1731{,}48$ (см. стр. 65), получим скорость в *км/час*: $\dot{\xi} = 1{,}85$, $\dot{\eta} = 24{,}2$, $V = 24{,}4$.

Вычисление эфемериды по элементам гиперболической орбиты. Даны элементы орбиты q (перигелийное расстояние), e, i, ω, Ω, τ (момент прохождения через перигелий).

Отличие при вычислении координат и скоростей на некоторый момент времени от случая эллиптического движения состоит в следующем.

Вместо эксцентрической аномалии E находим на заданный момент t ее аналог H из уравнения, аналогичного уравнению Кеплера:

$$e \operatorname{sh} H - H = \tilde{n}(t - \tau) \quad (\operatorname{sh} H \text{ — гиперболический синус}), \qquad (1.130)$$

где $\tilde{n}$ — аналог среднего движения, определяемого также согласно (1.84*). При этом $a = q/(e-1)$ — действительная полуось гиперболической орбиты. При решении этого уравнения полагаем нулевое приближение равным

$$H_0 = \frac{1}{M} \lg \frac{2\tilde{n}(t-\tau)}{e}, \qquad (1.131)$$

где $M = 0{,}43429\ldots$ (модуль перехода от натуральных к десятичным логарифмам). Следующее приближение:

$$H_1 = H_0 - \frac{e \operatorname{sh} H_0 - H_0 - \tilde{n}(t-\tau)}{e \operatorname{ch} H_0 - 1} \qquad (1.131^*)$$

($\operatorname{ch} H_0$ — гиперболический косинус) и т. д.

Орбитальные координаты ξ, η, радиус-вектор r, скорость V и компоненты скорости находятся по формулам:

$$\left.\begin{aligned} &\xi = a(e - \operatorname{ch} H), && \eta = a\sqrt{e^2-1}\operatorname{sh} H, \\ &\dot{\xi} = -\frac{\tilde{n}a^2}{r}\operatorname{sh} H, && \dot{\eta} = \frac{\tilde{n}a^2}{r}\sqrt{e^2-1}\operatorname{ch} H, \\ &r = a(e\operatorname{ch} H - 1), && V = k\sqrt{1+m}\sqrt{\frac{2}{r}+\frac{1}{a}} = \sqrt{\dot{\xi}^2+\dot{\eta}^2}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.132)$$

Остальные формулы остаются без изменений.

Вычисление эфемериды по элементам параболической орбиты. Даны элементы орбиты q, i, Ω, ω, τ. Вычисление эфемериды отличается от случая эллиптического движения в пп. 2—4 и формулами для компонент скорости (остальные пункты выпускаем).

2. Вычисляем величину $\tilde{M}$ (аналог средней аномалии):

$$\tilde{M} = \tilde{n}(t - \tau), \quad \tilde{n} = \frac{k}{\sqrt{2q^3}} \qquad (k = 0{,}01720210). \qquad (1.133)$$

3. Находим вспомогательную величину θ из кубического уравнения

$$\frac{1}{3}\theta^3 + \theta - \tilde{M} = 0. \qquad (1.134)$$

Полагая нулевое приближение $\theta_0 = \tilde{M}$, определяем следующее приближение по формуле

$$\theta_1 = \theta_0 - \frac{\frac{1}{3}\theta_0^3 + \theta_0 - \tilde{M}}{\theta_0^2 + 1} \quad \text{и т. д.} \qquad (1.134^*)$$

4. Орбитальные координаты, а также r, $\dot{\xi}$, $\dot{\eta}$, V, находятся по формулам

$$\left.\begin{aligned} &\xi = q(1 - \theta^2), \quad \eta = 2q\theta, \quad r = q(1 + \theta^2), \\ &\dot{\xi} = -\frac{2\tilde{n}q^2}{r}\theta, \quad \dot{\eta} = \frac{2\tilde{n}q^2}{r}, \quad V = k\sqrt{\frac{2(1+m)}{r}} = \sqrt{\dot{\xi}^2 + \dot{\eta}^2}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.135)$$

Пример 2. Даны следующие элементы параболической орбиты кометы:

$$q = 0{,}52830$$
$$\Omega = 311^\circ\,24'\,46''$$
$$i = 138^\circ\,6'\,42''$$
$$\omega = 89^\circ\,15'\,58''$$
$$\tau = 1939 \text{ апреля } 10{,}1814.$$

Угловые элементы отнесены к эпохе 1939,0.

Требуется определить координаты и скорости на момент t = 1939 апреля $22^d{,}81306$.

1. Координаты $X_\odot, Y_\odot, Z_\odot$ на момент t равны (взяты из Астрономического Ежегодника): $X_\odot = 0{,}855$, $Y_\odot = 0{,}486$, $Z_\odot = 0{,}211$.

2. Вычисляем $t - \tau = 12{,}63166$ и $\tilde{M} = 0{,}401$.

3. Решая уравнения (1.134), находим $\theta = 0{,}380$.

4. Вычисляем орбитальные координаты: $\xi = 0{,}451$, $\eta = 0{,}401$, а также $r = 0{,}604$.

5. Вычисляем величины $\overline{P}_1, \overline{P}_2, \ldots, \overline{Q}_3$, а затем $\bar{x} = 0{,}518$, $\bar{y} = -0{,}054$, $\bar{z} = 0{,}308$.

6. Вычисляем геоцентрические экваториальные координаты: $X = 0{,}337$, $Y = 0{,}432$, $Z = 0{,}519$. Далее получим $\operatorname{tg}\alpha = 1{,}28$, $\operatorname{tg}\delta = 0{,}948$ и $\alpha = 52^\circ 0'$, $\delta = 43^\circ 28'$.

Заметим, что более точные вычисления (с пятью значащими цифрами) дают $\alpha = 51^\circ 59' 55''$, $\delta = 43^\circ 29' 19''$.

7. Вычисления скорости и ее компонент согласно (1.135) дают: $\dot{\xi} = -0{,}0111$ а. е./d $= -19{,}2$ *км/сек*, $\dot{\eta} = 0{,}0293$ а. е./d $= 50{,}7$ *км/сек*, $V = 0{,}0313$ а. е./d $= 54{,}2$ *км/сек*.

Пример 3. Пусть элементы, данные в примере 2, к которым добавлен эксцентриситет $e = 1{,}0100$, являются элементами гиперболической орбиты. Вычисления отличаются в пп. 2—4 и 7.

2. Вычисляем $a = 52{,}830$, $\tilde{n} = 0{,}00004480$, $\tilde{n}(t - \tau) = 0{,}000566$.

3. Решаем уравнение (1.130). Получим $H_0 = 0{,}000560$ согласно (1.131) и $H_1 = 0{,}0561$. С точностью до 0,0001 $H_2 = H_1$.

4. Находим $\operatorname{sh} H = 0{,}0561$, $\operatorname{ch} H = 1{,}0016$, $\xi = 0{,}444$, $\eta = 0{,}421$, $r = 0{,}613$. Далее находим согласно (1.132): $\dot\xi = -0{,}0114$ a. e./d $= -19{,}7$ *км/сек*, $\dot\eta = 0{,}0290$ a. e./d $= 50{,}2$ *км/сек*, $V = 0{,}0312$ a. e./d $= 54{,}0$ *км/сек*.

Остальные вычисления такие же, как в примере 2.

Вычисление эфемерид для орбит с эксцентриситетом $e \approx 1$. Отличие от общих случаев для эллиптических и гиперболических орбит состоит в вычислении орбитальных координат, а также r, $\dot\xi$, $\dot\eta$. Формулы (1.120), (1.127), (1.132) при $e \approx 1$ неудобны (происходит потеря точности). Целесообразны следующие приближенные формулы:

$$\left.\begin{aligned} &r = q(1 + e\theta^2), \quad \xi = q(1-\theta^2), \quad \eta = 2q\theta\left(1 - \frac{1}{2}\gamma - \gamma\theta^2\right), \\ &\dot\xi = -\frac{2\tilde n q^2}{r}\left(1 - \frac{\gamma}{2}(\theta^2+\theta^4)\right), \quad \tilde n = \frac{k}{\sqrt{2q^3}}, \\ &\dot\eta = \frac{2\tilde n q^2}{r}\left(1 - \frac{\gamma}{2} - \frac{\gamma}{2}(7\theta^2+\theta^4)\right), \end{aligned}\right\} \tag{1.136}$$

где $\gamma = \frac{1}{2}(1-e)$, q — перигелийное расстояние, а θ находится из уравнения

$$\theta + \theta^3\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2}\gamma\right) + \frac{1}{10}\gamma\theta^5 = \tilde n(t-\tau) \tag{1.137}$$

(τ — момент прохождения через перигелий). Для эллиптической орбиты $e < 1$ и $\gamma > 0$, а для гиперболической $e > 1$ и $\gamma < 0$. Эти формулы отличаются от соответствующих формул (1.135) для параболической орбиты лишь малыми дополнительными членами. В более точных формулах имеются члены, зависящие от γ^2, γ^3, ... и т. д.

§ 20. Определение орбит

Под определением орбит понимается определение элементов невозмущенной орбиты (эллиптической, гиперболической, параболической) по имеющимся наблюдениям или по данным о положении и скорости данного небесного тела.

Определение гелиоцентрической эллиптической орбиты по трем наблюдениям. Обычно эта задача возникает при изучении движений астероидов и периодических комет. Для нахождения элементов невозмущенной эллиптической орбиты вообще достаточно знать два гелиоцентрических положения небесного тела на два момента времени. При наблюдениях с Земли надо иметь для этого три положения на небесной сфере.

Пусть на моменты t_1, t_2, t_3 даны соответствующие экваториальные геоцентрические координаты небесного тела: (α_1, δ_1), (α_2, δ_2) и (α_3, δ_3). Пусть соответствующие прямоугольные

геоцентрические (экваториальные) координаты Солнца равны (X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3).

За единицу времени принимаем средние солнечные сутки, за единицу расстояния — астрономическую единицу.

1. Находим для всех трех моментов величины *):

$$\left.\begin{aligned} &p_j = \operatorname{tg}\alpha_j, \quad q_j = \sec\alpha_j \operatorname{tg}\delta_j, \quad l_j = \sec\alpha_j \sec\delta_j, \\ &a_j = p_j X_j - Y_j, \quad b_j = q_j X_j - Y_j, \quad j = 1,\ 2,\ 3. \end{aligned}\right\} \tag{1.138}$$

Далее, находим:

$$\left.\begin{aligned} d_2 &= 2(p_2 a_2 + q_2 b_2), \quad e_2^2 = a_2^2 + b_2^2, \\ E &= (p_2 - p_3)(q_3 - q_1) - (q_2 - q_3)(p_3 - p_1), \\ F_j &= a_j(q_3 - q_1) - b_j(p_3 - p_1). \end{aligned}\right\} \tag{1.139}$$

Формула для контроля:

$$\begin{aligned} F_1 + F_2 + F_3 + E = (a_1 + a_2 + a_1 + p_2 - p_3)(q_3 - q_1) - \\ - (b_1 + b_2 + b_3 + q_2 - q_3)(p_3 - q_1). \end{aligned} \tag{1.139*}$$

2. Находим величины:

$$\left.\begin{aligned} &c_1^0 = \frac{t_3 - t_2}{t_3 - t_1}, \quad c_3^0 = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}, \\ &\tau_1 = k(t_3 - t_2), \quad \tau_2 = k(t_3 - t_1), \quad \tau_3 = k(t_2 - t_1), \\ &\nu_1 = \frac{1}{6}\tau_1\tau_3(1 + c_1^0), \quad \nu_3 = \frac{1}{6}\tau_1\tau_3(1 + c_3^0), \quad \nu_2 = \frac{5}{48}\tau_2^2, \\ &A = \frac{c_1^0 F_1 - F_2 + c_3^0 F_3}{E}, \quad B = \frac{\nu_1 F_1 + \nu_3 F_3}{E}, \end{aligned}\right\} \tag{1.140}$$

где $k = 0{,}017202$.

3. Решаем систему двух уравнений с двумя неизвестными x_2 и r_2:

$$x_2 = A + \frac{B}{r_2^3}\left(1 + \frac{\nu_2}{r_2^3}\right), \tag{1.141}$$

$$r_2^2 = (x_2 l_2^2 + d)\, x_2 + e_2^2. \tag{1.142}$$

Применяя так называемый метод последовательных приближений, выбираем произвольно некоторое начальное значение $x_2 = (x_2)_0$ **), после чего находим $(r_2)_0$ из (1.142) и из уравнения (1.141) вычисляем значение $x_2 = (x_2)_1$. Если начальное значение x_2 было бы выбрано правильно, т. е. удовлетворяло бы урав-

---

*) Если $|\operatorname{tg}\alpha_2| > 1$, то надо положить $p_j = \operatorname{ctg}\alpha_j$; $q_j = \operatorname{cosec}\alpha_j \operatorname{tg}\delta_j$, $l_j = \operatorname{cosec}\alpha_j \sec\delta_j$ $(j = 1,\ 2,\ 3)$ и во всех дальнейших формулах букву x заменить буквой y.

**) При этом надо иметь в виду, что x_2 есть гелиоцентрическая прямоугольная координата тела, выраженная в а. е. Значение $(x_2)_0$ следует выбирать, исходя из разумного предположения относительно расстояния тела от Солнца.

ниям, то тогда $(x_2)_0 = (x_2)_1$. В противном случае $(x_2)_0 \neq (x_2)_1$. Тогда с новым значением $(x_2)_1$ вычисляем аналогичным путем следующее приближение $(x_2)_2$. Если $(x_2)_1 \neq (x_2)_2$, то вычисляем $(x_2)_3$ и т. д. до тех пор, пока два последующих приближения не сойдутся в пределах заданной точности.

Замечание. Если вычислено $(x_2)_1 = s_1$ и $(x_2)_2 = s_2$, то третье приближение $(x_2)_3 = s_3$ может быть найдено по формуле

$$s_3 = s_2 - \frac{(s_2 - s_1)^2}{s_2 - 2s_1 + (x_2)_0}. \tag{1.143}$$

Часто полученное таким путем третье приближение значительно ускоряет вычисления или даже дает непосредственно нужный результат.

4. После решения уравнения (1.141) и (1.142) находим:

$$\left.\begin{aligned} & c_1 = c_1^0 + \frac{\nu_1 (x_2 - A)}{B}, \quad c_3 = c_3^0 + \frac{\nu_3 (x_2 - A)}{B}, \\ & x_1 = \frac{(q_3 - q_2) x_2 + c_1 b_1 - b_2 + c_3 b_3}{c_1 (q_3 - q_1)}, \quad x_3 = \frac{x_2 - c_1 x_1}{c_3}, \\ & y_j = p_j x_j + a_j, \quad z_j = q_j x_j + b_j, \qquad j = 1,\ 2,\ 3. \end{aligned}\right\} \tag{1.144}$$

Контроль:

$$\left.\begin{aligned} x_2 = c_1 x_1 + c_3 x_3, \quad y_2 = c_1 y_1 + c_3 y_3, \quad z_2 = c_1 z_1 + c_3 z_3, \\ r_2^2 = x_2^2 + y_2^2 + z_2^2. \end{aligned}\right\} \tag{1.145}$$

Координаты (x_j, y_j, z_j), $j = 1, 2, 3,$ — прямоугольные гелиоцентрические экваториальные координаты тела в моменты t_1, t_2, t_3 соответственно. Дальнейшее вычисление элементов орбиты может быть проведено по двум гелиоцентрическим положениям. Обычно выбирают два крайних положения: (x_1, y_1, z_1) и (x_3, y_3, z_3).

5. Вычисляем:

$$\left.\begin{aligned} & r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}, \quad r_3 = \sqrt{x_3^2 + y_3^2 + z_3^2}, \\ & B_x = y_1 z_3 - y_3 z_1, \quad B_y = z_1 x_3 - z_3 x_1, \quad B_z = x_1 y_3 - x_3 y_1, \\ & B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}, \qquad J = x_1 x_3 + y_1 y_3 + z_1 z_3. \end{aligned}\right\} \tag{1.146}$$

Контроль:

$$B^2 + J^2 = r_1^2 + r_3^2.$$

6. Находим элементы Ω, i по формулам

$$\operatorname{tg} \Omega = \frac{B_x}{-(B_y \cos \varepsilon + B_z \sin \varepsilon)}, \quad \operatorname{tg} i = \frac{B_x}{(B_z \cos \varepsilon - B_y \sin \varepsilon) \sin \Omega}, \tag{1.147}$$

где знаки синуса и косинуса Ω совпадают со знаками числителя и знаменателя.

Наклон орбиты к эклиптике i заключен в пределах между $0°$ и $180°$. Если $\operatorname{tg} i > 0$, то $0 < i < 90°$ и мы имеем орбиту с *прямым движением* тела вдоль нее. Если $\operatorname{tg} i < 0$, то $90° < i < 180°$, и движение тела по орбите *обратное*.

7. Вычисляем величины

$$\left.\begin{aligned} \chi^2 = 2(r_1 r_3 + J), \quad l = \frac{r_1 + r_3}{2\chi} - \frac{1}{2}, \\ m = \frac{\tau_2^2}{\chi^3}, \quad b = \frac{\frac{11}{9} m}{\frac{5}{6} + l} \end{aligned}\right\} \tag{1.148}$$

и величину $\bar{y}$ с помощью непрерывной дроби

$$\bar{y} = 1 + \frac{10}{11} \cfrac{b}{1 + \cfrac{b}{1 + \cfrac{b}{1 + b \ldots}}} \tag{1.149}$$

После этого определяем параметр орбиты p:

$$p = \left(\frac{\bar{y} B}{\tau_2}\right)^2. \tag{1.150}$$

8. Вычисляем величины

$$\left.\begin{aligned} f_1 = p - r_1, \qquad f_3 = p - r_3, \\ g_1 = \frac{f_1 J - f_3 r_1^2}{B}, \quad g_3 = \frac{f_1 r_3^2 - f_3 J}{B}, \end{aligned}\right\} \tag{1.151}$$

после чего находим эксцентриситет орбиты

$$e = \frac{1}{r_1} \sqrt{f_1^2 + g_1^2} \quad \text{или} \quad e = \frac{1}{r_3} \sqrt{f_3^2 + g_3^2}. \tag{1.152}$$

Оба значения e должны совпадать.

9. Находим большую полуось орбиты:

$$a = \frac{p}{1 - e^2}. \tag{1.153}$$

10. Находим эксцентрические аномалии E_1 и E_3 для моментов t_1 и t_3:

$$\operatorname{tg} E_1 = \frac{g_1}{(a - r_1)\sqrt{1 - e^2}}, \quad \operatorname{tg} E_3 = \frac{g_3}{(a - r_3)\sqrt{1 - e^2}}, \tag{1.154}$$

а также величины

$$e \sin E_1 = \frac{g_1}{b}, \quad e \sin E_3 = \frac{g_3}{b}, \tag{1.155}$$

где b — малая полуось орбиты $(b = a\sqrt{1 - e^2})$.

После этого находим соответствующие значения средней аномалии:

$$M_1 = E_1 - e^0 \sin E_1, \quad M_3 = E_3 - e^0 \sin E_3. \tag{1.156}$$

Далее находим среднее угловое движение n по двум формулам:

$$n = \frac{M_3 - M_1}{t_3 - t_1} \quad \text{и} \quad n = \frac{0^\circ{,}9856077}{a\sqrt{a}}. \tag{1.157}$$

Совпадение обоих значений служит контролем всех предшествующих вычислений.

11. Вычисляем величины:

$$c = \frac{f_1}{r_1^2 e}, \quad s = \frac{g_1}{r_1^2 e},$$

$$\left.\begin{aligned} k_y &= \frac{B_z}{B} x_1 - \frac{B_x}{B} z_1, & k_z &= \frac{B_x}{B} y_1 - \frac{B_y}{B} x_1, \\ P_y &= y_1 c - k_y s, & Q_y &= y_1 s + k_y c, \\ P_z &= z_1 c - k_z s, & Q_z &= z_1 s + k_z c. \end{aligned}\right\} \tag{1.158}$$

Затем находим ω по формуле

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{P_z \cos \varepsilon - P_y \sin \varepsilon}{Q_z \cos \varepsilon - Q_y \sin \varepsilon}, \tag{1.159}$$

где знаки $\cos \omega$ и $\sin \omega$ совпадают со знаками числителя и знаменателя.

На этом определение элементов заканчивается. Для контроля нужно вычислить с помощью этих элементов координаты α и δ на средний момент t_2 по формулам для вычисления эфемерид. Точного совпадения вычисленных $\alpha_в$, $\delta_в$ и наблюденных $\alpha_н$, $\delta_н$ мы не получим, даже если все предшествующие вычисления были безошибочными, — прежде всего по той причине, что приведенные формулы дают возможность вычислить элементы орбиты лишь приближенно (как говорят, в первом приближении). Но все же разности $\alpha_н - \alpha_в$ и $\delta_н - \delta_в$ должны быть малыми.

Данный метод дает хороший результат, если эксцентриситет орбиты невелик. Кроме того, наблюденные три положения не должны быть очень близкими друг к другу.

Пример. Даны три наблюдения астероида (отнесенные к эпохе 1936,0):

Дата			Всемирное время	α	δ
1936	августа	16	$23^h46^m,0$	334° 41′ 21″	−7° 10′ 0″
1936	сентября	17	21 42,7	331° 1′ 45″	−13° 33′ 8″
1936	октября	19	19 7,8	333° 8′ 40″	−16° 24′ 58″

(Если α выражено в часах, то надо перевести в градусы, минуты и секунды дуги.)

Выражаем часы и минуты в долях суток и составляем разности в сутках и долях суток между моментами t_1, t_2, t_3:

$$t_1 = \text{августа } 16{,}990, \quad t_2 = \text{сентября } 17{,}905, \quad t_3 = \text{октября } 19{,}797,$$

$$t_2 - t_1 = 31{,}915, \quad t_3 - t_1 = 63{,}807, \quad t_3 - t_2 = 31{,}892.$$

Находим в Астрономическом Ежегоднике СССР экваториальные прямоугольные геоцентрические координаты Солнца на моменты t_1, t_2, t_3 (отнесенные к эпохе 1936,0):

	t_1	t_2	t_3
X	—0,8178	—1,0006	—0,8933
Y	0,5476	0,08376	—0,4034
Z	0,2375	0,03630	—0,1750

1. Вычисляем по формулам (1.138)—(1.139) (все вычисления начинаем с четырьмя верными цифрами):

$$p_1 = -0{,}4729, \quad p_2 = -0{,}5536, \quad p_3 = -0{,}5064,$$
$$q_1 = -0{,}1391, \quad q_2 = -0{,}2755, \quad q_3 = -0{,}3302,$$
$$l_1 = 1{,}115, \quad l_2 = 1{,}176, \quad l_3 = 1{,}168,$$
$$a_1 = -0{,}1608, \quad a_2 = 0{,}4702, \quad a_3 = 0{,}8557,$$
$$b_1 = -0{,}1297, \quad b_2 = 0{,}2394, \quad b_3 = 0{,}4700,$$
$$d_1 = -0{,}6525, \quad e_2^2 = 0{,}2784,$$
$$F_1 = 0{,}0266, \quad F_2 = -0{,}0819, \quad F_3 = -0{,}1479,$$
$$E = 0{,}0109.$$

Контроль:

$$F_1 + F_2 + F_3 + E = -0{,}1923,$$

$$a_1 + a_2 + a_3 + p_2 - p_3)(q_3 - q_1) -$$
$$- (b_1 + b_2 + b_3 + q_3 - q_3)(p_3 - p_1) = -0{,}1925$$

Замечание. При вычислении F_1, F_2, E произошла потеря точности, так как разности $p_3 - p_1$, $q_3 - q_2$, $p_2 - p_3$ имеют только три верные цифры, а мы начали вычисления с четырьмя верными цифрами. Это произошло потому, что при составлении указанных разностей мы имеем дело с вычитанием двух близких друг к другу чисел.

2. Вычисляем по формулам (1.140):

$$c_1^0 = 0{,}500, \quad c_3^0 = 0{,}500, \quad \tau_1 = 0{,}549, \quad \tau_2 = 1{,}098,$$
$$\tau_3 = 0{,}549, \quad \nu_1 = 0{,}0753, \quad \nu_2 = 0{,}125, \quad \nu_3 = 0{,}0753,$$
$$A = 1{,}95, \quad B = -0{,}840$$

(A и B имеют только три верные цифры).

3. Составляем уравнения (1.141—1.142):

$$x_2 = 1{,}95 - \frac{0{,}845}{r_2^3}\left(1 + \frac{0{,}125}{r_2^3}\right),$$

$$r_2^2 = (1{,}38x_2 - 0{,}652)\,x_2 + 0{,}278.$$

Начальное значение x_2 возьмем равным $(x_2)_0 = 1{,}6$. Вычисляем

$$(r_2)_0 = 1{,}67, \quad (x_2)_1 = 1{,}76,$$
$$(r_2)_1 = 1{,}85, \quad (x_2)_2 = 1{,}81.$$

Окончательно получим:

$$x_2 = 1{,}83, \quad r_2 = 1{,}93 \qquad \left(r_2^2 = 3{,}72\right).$$

4. Находим величины c_1, c_3, ... по формулам (1.144)

$$c_1 = 0{,}510, \quad c_3 = 0{,}511, \quad z_1 = -0{,}356,$$
$$x_1 = 1{,}67, \quad y_1 = -0{,}950, \quad z_3 = -0{,}165,$$
$$x_3 = 1{,}92, \quad y_3 = -0{,}118, \quad z_2 = -0{,}266,$$
$$y_2 = -0{,}545.$$

Контроль:

$$c_1x_1 + c_3x_3 = 1{,}83, \qquad x_2 = 1{,}83,$$
$$c_1y_1 + c_3y_3 = -0{,}544, \qquad y_1 = -0{,}545,$$
$$c_1z_1 + c_3z_3 = -0{,}266, \qquad z_2 = -0{,}266,$$
$$x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 = 3{,}72, \qquad r_2^2 = 3{,}72.$$

5. Вычисляем по формулам (1.146):

$$r_1 = 1{,}95, \quad r_3 = 1{,}93,$$
$$B_x = 0{,}115, \quad B_y = -0{,}409, \quad B_z = 1{,}63,$$
$$B = 1{,}68, \quad J = 3{,}38.$$

Контроль:

$$B^2 + J^2 = 14{,}2, \quad r_1^2 r_3^2 = 14{,}1.$$

6. Находим элементы ☊, i:

$$\operatorname{tg} ☊ = \frac{0{,}115}{-0{,}272} = 0{,}423, \quad ☊ = 157^\circ\, 5' \qquad (\sin\varepsilon = 0{,}398),$$
$$\sin i = 0{,}175, \quad i = 10^\circ\, 4' \qquad (\cos\varepsilon = 0{,}917).$$

7. Вычисляем величины τ_2, χ, ... по формулам (1.148):

$$\tau_2 = 1{,}095, \quad \chi^2 = 14{,}3, \quad \chi = 3{,}78, \quad l = 0{,}014,$$
$$m = 0{,}0223, \quad b = 0{,}0321.$$

Определяем, далее, $\bar{y}$ и параметр орбиты p:

$$\bar{y} = 1 + \frac{10}{11}\,\cfrac{0{,}0321}{1 + \cfrac{0{,}0321}{1 + \cfrac{0{,}0321}{\cdots}}} = 1{,}0283, \qquad p = 2{,}49.$$

8, 9. Вычисляем эксцентриситет орбиты:

$$f_1 = 0{,}54, \qquad f_3 = 0{,}56\ ^{*)},$$
$$g_1 = -0{,}18, \quad g_3 = 0{,}07,$$
$$e = \frac{1}{r_1}\sqrt{f_1^2 + g_1^2} = 0{,}29, \quad e = \frac{1}{r_3}\sqrt{f_3^2 + g_3^2} = 0{,}29,$$

и далее большую полуось

$$a = 2{,}73.$$

10. Находим E_1, ..., M_3, согласно (1.154—1.155):

$$E_1 = -14^\circ\, 2', \quad E_3 = 5^\circ\, 20', \quad M_1 = -10^\circ{,}08, \quad M_3 = 3^\circ{,}7.$$

---

*) Здесь мы имеем уже лишь две верные цифры.

Контроль:
Находим n по формулам (1.157):

$$n_M = \frac{M_3 - M_1}{t_3 - t_1} = 0^\circ{,}216, \quad n_a = \frac{0^\circ{,}9856}{a\sqrt{a}} = 0^\circ{,}218.$$

Расхождение в одну-две единицы последнего знака допустимо.

11. Находим ω:

$$c = 0{,}49, \qquad s = -0{,}16,$$
$$k_y = 1{,}64, \qquad k_z = 0{,}340,$$
$$P_y = -0{,}19, \qquad P_z = -0{,}12,$$
$$Q_y = 0{,}95, \qquad Q_z = 0{,}22,$$
$$\operatorname{tg}\omega = \frac{-0{,}03}{-0{,}18} = 0{,}17\ ^*), \quad \omega = 190^\circ.$$

Нами получены, следовательно, элементы (отнесенные к эпохе 1936,0):

$$\left.\begin{aligned} &a = 2{,}73, && i = 10^\circ\,4', \\ &e = 0{,}29, && \omega = 190^\circ, \\ &n^\circ = 0^\circ{,}217, && M = -10^\circ{,}08 = 349^\circ\,55' \quad (t = 1936 \text{ августа } 16{,}990), \\ &\Omega = 157^\circ\,5'. && \end{aligned}\right\} \quad (1.160)$$

При более точных вычислениях (которые ведутся с шестью-семью верными знаками), а также при использовании более точного метода мы получили бы элементы:

$$\left.\begin{aligned} &a = 2{,}71830, && \omega = 190^\circ\,12'\,14'', \\ &e = 0{,}29039, && M = 350^\circ\,0'\,36'', \\ &\Omega = 157^\circ\,14'\,59'', && n^\circ = 0{,}219916, \\ &i = 10^\circ\,8'\,10''. && \end{aligned}\right\} \quad (1.161)$$

Таким образом, ошибки наших весьма грубых вычислений все же не очень велики. Во всяком случае мы вполне получили представление об орбите данного астероида и можем приближенно (с точностью до десятков минут дуги) вычислить эфемериду.

После получения элементов надо, вообще, для проверки представить среднее наблюдение, т. е. вычислить с помощью этих элементов α и δ на момент t_2. Мы провели выше (см. § 19, стр. 96) такие вычисления с точными элементами (1.161) и получили

$$\alpha = 331^\circ\,0', \quad \delta = 13^\circ\,36'.$$

Расхождения с наблюденными α и δ составляют минуты дуги, что соответствует точности вычислений (три верные цифры). Если бы мы вычислили α и δ с помощью элементов (1.160), то получили бы расхождения такого же порядка.

Определение гелиоцентрической гиперболической орбиты по трем наблюдениям. Все вычисления в пп. 1—8, 11 остаются без изменений. Тот факт, что орбита является гиперболической, обнаруживается в п. 8. Мы получим $e > 1$. После этого вычис-

---

*) Значение $\operatorname{tg}\omega$ мы получили фактически лишь с одной верной цифрой, так как такова точность числителя. Поэтому ω определяется нами с точностью до 1—2°.

ляется действительная полуось a и перигелийное расстояние q:

$$a = \frac{p}{e^2 - 1}, \quad q = \frac{p}{1 + e}. \qquad (1.162)$$

Далее вычисляем момент прохождения через перигелий τ:

$$\operatorname{ch} H_j = \frac{r_j + a}{ae}, \quad \operatorname{sh} H_j = \frac{g_j}{ae\sqrt{e^2 - 1}}, \quad j = 1, 3, \qquad (1.163)$$

$$\tau = t_1 + (H_1 - e \operatorname{sh} H_1)\frac{a^{3/2}}{k} \text{ или } \tau = t_3 + (H_3 - e \operatorname{sh} H_3)\frac{a^{3/2}}{k}. \qquad (1.164)$$

Оба значения τ должны совпадать.

Случай орбит с эксцентриситетом $e \approx 1$. При $e \approx 1$ большая полуось эллиптической орбиты a и средние аномалии M_1, M_3 вычисляются неточно (см. (1.153—1.154)). Поэтому целесообразно характеризовать такую орбиту перигелийным расстоянием q и моментом прохождения через перигелий τ. Они вычисляются по формулам

$$q = \frac{p}{1 + e}, \quad \xi_j = \frac{f_j}{c}, \quad \eta_j = \frac{g_j}{e}, \quad \gamma = \frac{1 - e}{2}, \qquad (1.165)$$

$$\sigma_j = \frac{\eta_j}{2q}\sqrt{\frac{2}{1 + e}\,\frac{1}{1 - \gamma\left(1 - \frac{\xi_j}{q}\right)}}, \qquad j = 1, 3, \qquad (1.166)$$

$$\tau = t_j - \frac{\sqrt{2q^3}}{k}\left[\sigma_j + \sigma_j^3\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2}\gamma\right) + \frac{1}{10}\gamma\sigma_j^5\right]. \qquad (1.167)$$

Значения τ, находимые при $j = 1$ и $j = 3$, должны совпадать.

Эти же формулы целесообразны при вычислении τ для гиперболических орбит при $e \approx 1$. При этом $\gamma < 0$.

Эфемерида в случае таких орбит вычисляется с помощью формул (1.136)—(1.137), в которые a не входит.

Определение параболической орбиты. Пусть даны на моменты t_1, t_2, t_3 экваториальные координаты (α_j, δ_j), $j = 1, 2, 3$, и пусть соответствующие прямоугольные координаты Солнца равны X_j, Y_j, Z_j.

1. Для всех трех моментов вычисляем величины:

$$\left.\begin{aligned} &l_j = \cos\delta_j \cos\alpha_j, \quad m_j = \cos\delta_j \sin\alpha_j, \quad n_j = \sin\delta_j \qquad (j = 1, 2, 3), \\ &A = m_2 Z_2 - n_2 Y_2, \quad B = n_2 X_2 - m_2 Z_2, \quad C = l_2 Y_2 - m_2 X_2. \end{aligned}\right\} \qquad (1.168)$$

(Контроль: $l_2 A + m_2 B + n_2 C = X_2 A + Y_2 B + Z_2 C = 0$.)

$$\left.\begin{aligned} &q_1 = l_1 A + m_1 B + n_1 C, \quad q_3 = l_3 A + m_3 B + n_3 C, \\ &J_2 = l_1 l_3 + m_1 m_3 + n_1 n_3, \\ &g^2 = (X_3 - X_1)^2 + (Y_3 - Y_1)^2 + (Z_3 - Z_1)^2, \\ &L_j = l_j (X_3 - X_1) + m_j (Y_3 - Y_1) + n_j (Z_3 - Z_1), \\ &C_j = -(l_j X_1 + m_j Y_1 + n_j Z_1), \qquad j = 1, 3, \\ &S_j^2 = X_j^2 + Y_j^2 + Z_j^2 - C_j^2. \end{aligned}\right\} \qquad (1.169)$$

2. Затем вычисляем величины:

$$\left.\begin{aligned} &M = -\frac{t_3 - t_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{q_1}{q_3}, \quad \tau_2 = k(t_3 - t_1), \qquad k = 0{,}0172021, \\ &h^2 = 1 + M^2 - 2MJ_2, \quad l = \frac{1}{h}(ML_3 - L_1), \quad p^2 = g^2 - l^2, \\ &K_j = \frac{M_j}{h} l + C_j, \quad M_1 = 1, \quad M_3 = M, \end{aligned}\right\} \tag{1.170}$$

после чего составляем систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned} &\sigma = (r_1 + r_3)\,\eta\left(1 + \frac{1}{24}\eta^2 + \frac{5}{384}\eta^4\right), \qquad u = \sqrt{\sigma^2 - p^2}, \\ &r_j = \sqrt{\left(\frac{M_j}{h}u + K_j\right)^2 + S_j^2}, \\ &\eta = \frac{2\tau_2}{(r_1 + r_3)^{1/2}} \qquad (j = 1,\ 3), \end{aligned}\right\} \tag{1.171}$$

где неизвестными являются r_1, r_3, σ, u, η. Эти уравнения решаются методом последовательных приближений. В качестве начального значения $r_1 + r_3$ принимаем $r_1 + r_3 = s_0 = 2$. С этим значением s_0 вычисляем по формулам (1.171) $\eta = \eta_0$, затем $\sigma = \sigma_0$, $u = u_0$, $(r_1)_0$, $(r_3)_0$ и получаем $(r_1)_0 + (r_3)_0 = s_1$.

Если s_1 совпадает с s_0, то найденные η_0, σ_0, u_0, $(r_1)_0$, $(r_3)_0$ дают решение уравнений. Если совпадения нет, то со значением s_1 снова вычисляем $\eta = \eta_1$, $\sigma = \sigma_1$, $u = u_1$, $(r_1)_1$, $(r_3)_1$, $(r_1)_1 + (r_3)_1 = s_2$, до тех пор, пока два последовательные значения s_{k-1}, s_k не совпадут в пределах желаемой точности.

3. После того как основные уравнения решены, находим величины

$$\rho_1 = \frac{1}{h}(u + l), \quad \rho_3 = M\rho_1, \tag{1.172}$$

а затем гелиоцентрические координаты (x_1, y_1, z_1) и (x_3, y_3, z_3) на моменты t_1 и t_3:

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= l_1\rho_1 - X_1, & x_3 &= l_3\rho_3 - X_3, \\ y_1 &= m_1\rho_1 - Y_1, & y_3 &= m_3\rho_3 - Y_3, \\ z_1 &= n_1\rho_1 - Z_1, & z_3 &= n_3\rho_3 - Z_3. \end{aligned}\right\} \tag{1.173}$$

Контроль:

$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}, \quad r_3 = \sqrt{x_3^2 + y_3^2 + z_3^2}.$$

4. Далее приступаем непосредственно к определению элементов орбиты по двум гелиоцентрическим положениям.

Вычисляем величины

$$\left.\begin{aligned}&\theta_1 = \frac{\sqrt{(r_1+r_3)^2-\sigma^2}-2r_1}{\sqrt{\sigma^2-(r_3-r_1)^2}}, \quad \theta_3 = \frac{2r_3-\sqrt{(r_1+r_2)^2-\sigma^2}}{\sqrt{\sigma^2-(r_3-r_1)^2}},\\ &M_1 = \frac{\sqrt{2}}{k}\left(\theta_1+\frac{1}{3}\theta_1^3\right), \qquad M_3 = \frac{\sqrt{2}}{k}\left(\theta_3+\frac{1}{3}\theta_3^3\right), \quad k = 0{,}0172021,\end{aligned}\right\} \tag{1.174}$$

а затем перигелийное расстояние q:

$$q = \frac{r_1}{1+\theta_1^2} \quad \text{или} \quad q = \frac{r_3}{1+\theta_3^2}, \tag{1.175}$$

и момент прохождения через перигелий τ:

$$\tau = t_1 - M_1 q\sqrt{q} \quad \text{или} \quad \tau = t_3 - M_3 q\sqrt{q}. \tag{1.176}$$

Оба значения q и оба значения τ должны совпадать.

5. Если ограничиться небольшой точностью, то элементы Ω, ω, i можно определить следующим образом.

Вычисляем величины:

$$\left.\begin{aligned}n_x &= \frac{x_3(1-\theta_1^2)-x_1(1-\theta_3^2)}{\theta_3(1-\theta_1^2)-\theta_1(1-\theta_3^2)},\\ m_x &= \frac{x_1-n_x\theta_1}{1-\theta_1^2}.\end{aligned}\right\} \tag{1.177}$$

Заменив в этих формулах букву x буквой y или z, получим формулы для вычисления величин n_y, m_y или n_z, m_z.

Контроль:

$$\left.\begin{aligned}m_x^2+m_y^2+m_z^2 &= q^2,\\ n_x^2+n_y^2+n_z^2 &= 4q^2,\\ m_x n_x+m_y n_y+m_z n_z &= 0.\end{aligned}\right\} \tag{1.178}$$

После этого вычисляем:

$$\left.\begin{aligned}&P_x = \frac{m_x}{q}, \quad P_y = \frac{m_y}{q}, \quad P_z = \frac{m_z}{q},\\ &Q_x = \frac{n_x}{2q}, \quad Q_y = \frac{n_y}{2q}, \quad Q_z = \frac{n_z}{2q},\end{aligned}\right\} \tag{1.179}$$

$$\left.\begin{aligned}&\bar{P}_y = \frac{1}{q}(m_y\cos\varepsilon+m_z\sin\varepsilon), \quad \bar{P}_z = \frac{1}{q}(m_z\cos\varepsilon-m_y\sin\varepsilon),\\ &\bar{Q}_y = \frac{1}{2q}(n_y\cos\varepsilon+n_z\sin\varepsilon), \quad \bar{Q}_z = \frac{1}{2q}(n_z\cos\varepsilon-n_y\sin\varepsilon),\\ &\bar{R}_x = \bar{P}_y\bar{Q}_z-\bar{P}_z Q_y,\\ &\bar{R}_y = \bar{P}_x Q_x - P_x\bar{Q}_z,\\ &\bar{R}_z = P_x\bar{Q}_y-\bar{P}_y Q_x.\end{aligned}\right\} \tag{1.180}$$

Контроль:

$$\bar{R}_x^2 + \bar{R}_y^2 = \bar{P}_z^2 + Q_z^2 = 1 - \bar{R}_z^2.$$

Находим так же, как делали выше, Ω, ω, i по формулам

$$\operatorname{tg}\omega = \frac{\bar{P}_z}{\bar{Q}_z}, \quad \operatorname{tg}\Omega = \frac{\bar{R}_x}{-\bar{R}_y}, \quad \operatorname{tg} i = \frac{\dfrac{\bar{R}_x}{\sin\Omega}}{\bar{R}_z}. \qquad (1.181)$$

Правило для знаков синусов и косинусов этих углов то же самое.

На этом вычисление элементов заканчивается. С полученными элементами надо для проверки представить среднее наблюдение, т. е. вычислить α и δ на момент t_2.

Пример. Даны три наблюдения кометы:

	Дата			Всемирное время	α	δ
(t_1)	1936	апрель	19	$19^h24^m42^s$	37° 6′24″	40°43′46″
(t_2)	1936	»	22	19 30 48	51 59 58	63 56 8
(t_3)	1936	»	25	20 2 45	43 29 14	41 30 38

Находим в Астрономическом Ежегоднике СССР прямоугольные координаты Солнца:

	t_1	t_2	t_3
X	0,8800	0,8547	0,8271
Y	0,4446	0,4856	0,5257
Z	0,1928	0,2106	0,2280

Вычисления по указанной схеме проводятся в целом так же, как и в предыдущем примере определения эллиптической орбиты. Если начать вычисления с тремя значащими цифрами, то также из-за потери точности в конце концов сохраняется только две или даже одна верная цифра. Мы получим тогда следующие элементы:

$$\left.\begin{aligned} q &= 0{,}54, \\ \Omega &= 315^\circ, \\ \omega &= 90^\circ, \\ i &= 135^\circ, \\ T &= 10-13 \text{ апреля } 1936. \end{aligned}\right\} \qquad (1.182)$$

Вычисления, проведенные более точно, дают следующие значения:

$$\left.\begin{aligned} q &= 0{,}52830, & \omega &= 89^\circ\,15'\,58'', \\ \Omega &= 311^\circ\,24'\,46'', & & \\ i &= 138^\circ\,6'\,41'', & T &= 1936, \text{ апреля } 10{,}1814. \end{aligned}\right\} \qquad (1.183)$$

После вычислений элементов надо для проверки представить с их помощью среднее наблюдение (вычислить α и δ на момент t_2). Мы здесь этого делать не будем, так как такие вычисления нами были проведены для точных элементов (см. § 19). Если бы мы использовали наши элементы (1.182), то расхождения между вычисленными и наблюденными α, δ составили бы несколько градусов, что соответствует точности полученных элементов орбиты.

Определение элементов гелиоцентрической орбиты по положению и скорости. Пусть в какой-либо момент t известны прямоугольные гелиоцентрические координаты x, y, z и компоненты скорости $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$ небесного тела. Этого достаточно для определения элементов орбиты.

1. Вычисляем радиус-вектор r, скорость V и постоянную интеграла энергии h:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \quad V = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}, \quad h = V^2 - \frac{2k^2}{r} \quad (1.184)$$

$$(k = 0{,}0172021).$$

Положительному значению h соответствует гиперболическая, отрицательному — эллиптическая и нулевому — параболическая орбиты. В первых двух случаях действительная (или большая) полуось равна

$$a = \frac{k^2}{|h|}. \quad (1.185)$$

2. В случае эллиптической орбиты вычисляем эксцентриситет e и эксцентрическую аномалию и далее среднюю аномалию на момент t по формулам

$$e \sin E = \frac{d}{k\sqrt{a}}, \quad e \cos E = 1 - \frac{r}{a}, \quad M = E - e^\circ \sin E, \quad (1.186)$$

где $d = x\dot{x} + y\dot{y} + z\dot{z}$, $e^\circ = 57^\circ{,}295780\ e$.

В случае гиперболической орбиты вычисляем e, H (аналог E) и момент τ прохождения через перигелий по формулам

$$e\,\mathrm{sh} = \frac{d}{k\sqrt{a}}, \quad e\,\mathrm{ch}\,H = 1 + \frac{r}{a}, \quad (1.187)$$

$$\tau = t + (H - e\,\mathrm{sh}\,H)\frac{a^{3/2}}{k}. \quad (1.188)$$

В случае параболической орбиты вычисляем перигелийное расстояние q и τ:

$$q = r - \frac{d^2}{2k^2}, \quad \tau = t - \frac{\sqrt{2q^3}}{k}\left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3\right), \quad (1.189)$$

где

$$\theta = \frac{d}{k\sqrt{2q}}.$$

3. Из соотношений

$$\left.\begin{aligned} k\sqrt{p}\sin i \sin \Omega &= y\dot{z} - z\dot{y}, \\ k\sqrt{p}\sin i \cos \Omega &= x\dot{z} - z\dot{x}, \\ k\sqrt{p}\cos i &= x\dot{y} - y\dot{x} \end{aligned}\right\} \quad (1.190)$$

находим для всех трех типов орбит i, Ω, а также параметр орбиты p. Контроль: $p = a(1 - e^2)$ для эллиптической орбиты, $p = a(e^2 - 1)$ для гиперболической, $p = 2q$ — для параболической.

4. Находим истинную аномалию v (на момент t) и элемент ω по формулам

$$\left. \begin{gathered} \operatorname{tg} v = \frac{d\sqrt{p}}{k(p - r)}, \quad \operatorname{tg} u = \frac{z \operatorname{cosec} i}{x \cos \Omega + y \sin \Omega}, \\ \omega = u - v. \end{gathered} \right\} \qquad (1.191)$$

Как и всюду выше, знаки косинусов углов v, u соответствуют знакам числителей и знаменателей.

Если исходные координаты x, y, z эклиптические, то мы получим обычные угловые элементы Ω, i, ω, отнесенные к плоскости эклиптики. Если x, y, z — экваториальные координаты, то для получения эклиптических элементов надо преобразовать $x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ к эклиптическим координатам и компонентам скорости по формулам (1.79) и аналогичным для $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$.

При анализе гелиоцентрического движения АМС важное значение имеют также формулы, позволяющие определить изменение орбиты (т. е. ее элементов и различных характеристик) при малых изменениях величины и направления скорости в некоторый момент времени t. Мы рассмотрим наиболее простой случай.

Пусть АМС движется по эллиптической гелиоцентрической орбите (рис. 44) и в момент t находится в точке Q. Радиус-вектор, скорость, истинная аномалия равны в этот момент r, V, v. Угол между r и V равен φ; Π — перигелий, A — афелий орбиты, r_A, r_Π — афелийное и перигелийное расстояния. Значения r, V, φ связаны с элементами орбиты a, e и с истинной аномалией v приведенными выше формулами. Пусть скорость и ее направление в этот момент изменились так, что новая скорость $V_1 = V + \Delta V$ и угол между r и V_1 равен $\varphi_1 = \varphi + \Delta\varphi$. После этого момента движение АМС будет происходить уже по другой орбите с элементами $a_1 = a + \Delta a$, $e_1 = e + \Delta e$ с новыми точками афелия A_1 и перигелия Π_1. Если ΔV и $\Delta\varphi$ малы, то формулы для вычисления приращений Δa, Δe, Δr_A, Δv, соответствующие

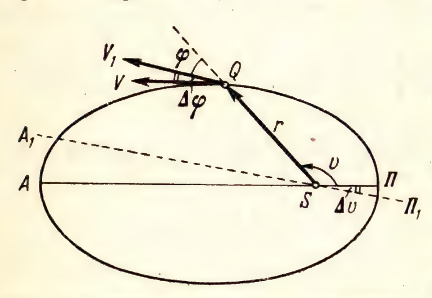


Рис. 44. Изменение орбиты после изменения величины и направления скорости.

переходу на другую орбиту, следующие:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\Delta a}{a}=2\,\frac{V}{\tilde{V}^2}\,\Delta V,\\
&\Delta e=2\,\frac{1-e^2}{e}\left[\left(\frac{V^2}{\tilde{V}^2}-1\right)\frac{\Delta V}{V}-\operatorname{tg}\varphi\cdot\Delta\varphi\right],\\
&\Delta v=-\left[\left(\operatorname{tg}\varphi+\frac{p+r}{p-r}\operatorname{ctg}\varphi\right)\Delta\varphi+\frac{2r}{p-r}\,\frac{\Delta V}{V}\right]\cos v\cdot\sin v,\\
&\Delta r_A=\Delta a\,(1+e)+a\,\Delta e,\quad \Delta r_\Pi=\Delta a\,(1-e)-a\,\Delta e,
\end{aligned}\right\}\qquad(1.192)$$

где $\tilde{V}$ — скорость на круговой орбите радиуса a.

Эти формулы позволяют определить элементы и характеристики новой орбиты, в частности, новые положения перигелия и афелия, новые перигелийное и афелийное расстояния. С такой задачей мы встречаемся при коррекции орбит, при определении отклонений фактической орбиты по сравнению с расчетной из-за погрешностей направления и величины начальной скорости.

Формулы этого раздела также пригодны для определения невозмущенной орбиты в случае движения ИСЗ или АМС вокруг Земли. Следует лишь заменить постоянную тяготения k^2 на геоцентрическую гравитационную постоянную $k^2 m_\oplus$ (см. § 18). В этом случае координаты и компоненты скорости обычно относят к геоцентрической экваториальной системе координат (см. § 16) и измеряют в соответствующей метрической системе единиц. Формулы, приведенные здесь, дополняют те, которые были приведены в § 18. Заметим, что угол ψ наклона скорости к горизонту связан с величиной d (см. (1.186)) формулой

$$d=rV\sin\psi,\qquad(1.193)$$

причем $\psi>0$, если V направлена вверх по отношению к горизонту, и $\psi<0$, если V направлена вниз.

§ 21. Предвычисление солнечных затмений

Солнечное затмение представляет собой явление покрытия солнечного диска Луной и, в зависимости от обстоятельств, может быть *полным*, *кольцеобразным* и *частным*.

Ход затмения характеризуется рядом величин, называемых *бесселевыми элементами* затмения, которые позволяют вычислить условия видимости затмения в любой точке земной поверхности. Как правило, бесселевы элементы вычисляются на различные моменты эфемеридного (реже — всемирного или среднего гринвичского) времени и в случае необходимости могут быть отнесены к любой другой системе счета времени (см. § 5).

Связь между эфемеридным T_e и всемирным T_0 временем приводится в астрономических ежегодниках на текущий год в

виде поправки

$$\Delta T = T_e - T_0. \qquad (1.194)$$

Основные характеристики видимости солнечного затмения в различных местах земной поверхности наносятся на географическую карту в виде линий, соединяющих точки земной поверхности с теми или иными одинаковыми величинами и поэтому называемых *изолиниями*. Так, изолинии, соединяющие точки земной поверхности, в которых наблюдается одновременное начало (конец) частного затмения, называются *изохронами начала* (*конца*) частного затмения. Линии, проходящие через точки земной поверхности, в которых одновременно наступает наибольшая фаза затмения, называются *изохронами наибольшей фазы*. Линии, проходящие через места с одинаковой наибольшей фазой затмения, называются *изофазами наибольшей фазы*. Между изофазами полной фазы ($\Phi = 1{,}00$) лежит полоса лунной тени или *полоса* полного *солнечного затмения*, в пределах которой продолжительность полной фазы затмения тем больше, чем ближе к середине полосы лежит место наблюдения. Часто эта полоса называется *полосой главной фазы*. В середине полосы тени проходит *линия центрального затмения*, на которой величина и продолжительность полной фазы затмения наибольшая.

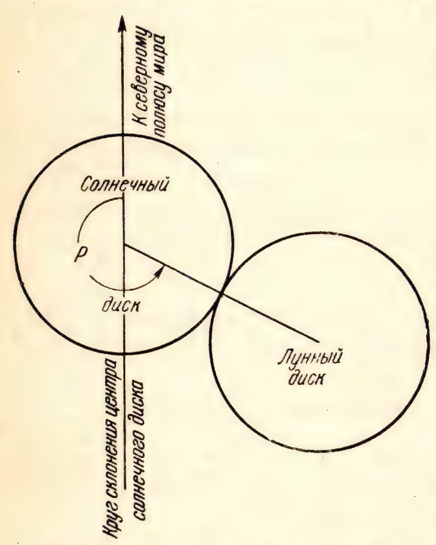


Рис. 45. К определению угла положения P точек касания лунного и солнечного дисков.

В моменты начала и конца частного затмения происходит внешнее касание лунного и солнечного дисков. Положение точек касания на диске Солнца определяется позиционным углом P (или углом положения) при центре солнечного диска, отсчитываемым от северной его точки против часовой стрелки (рис. 45). Те точки земной поверхности, из которых касание дисков Луны и Солнца усматривается при одинаковом позиционном угле P, соединяются на карте изолиниями, называемыми соответственно *изогонами начала* и *изогонами конца* частного затмения. На карту наносят также границы видимости солнечного затмения. Северная и южная границы видимости определяются смыканием одинаковых изохрон начала и конца частного затмения. Восточные границы видимости проходят по тем местам земной поверхности, в которых начало, середина

(наибольшая фаза) и конец затмения видны при заходе Солнца. Западные границы определяются теми же условиями при восходе Солнца.

Существуют аналитические, графические и полуграфические*) методы вычислений солнечных затмений. Мы здесь опишем только аналитический и полуграфический методы.

Аналитический метод. Принятый в настоящее время аналитический метод вычислений солнечных затмений впервые разработан Ф. Бесселем.

Сущность способа Бесселя состоит в том, что по координатам центров Солнца и Луны и их радиусам составляются уравнения круглых конических поверхностей, касательных к поверхностях этих светил (рис. 46). Коническая поверхность,

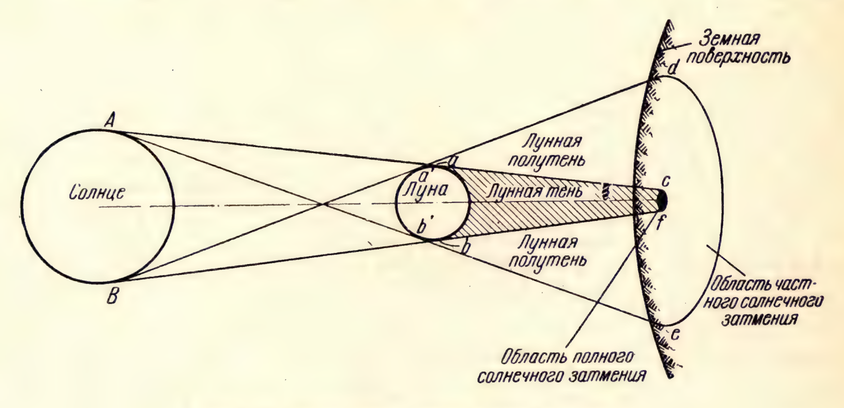


Рис. 46. Образование лунной тени и полутени.

образованная внешними касательными Aac и Bbf, ограничивает в пространстве лунную тень $acfb$. Коническая поверхность, образованная внутренними касательными $Ab'e$ и $Ba'd$, дает пространственную границу лунной полутени. Решая уравнения этих конических поверхностей совместно с уравнением земной поверхности, принимаемой за сфероид, получают линии пересечения обоих конусов с земной поверхностью. Эти линии являются соответственно изохронами начала и конца полного и частного солнечного затмения для Земли вообще. Изофазы частного затмения вычисляются из условия, что коническая поверхность касается не солнечного шара, а концентрического шара меньшего диаметра, соответствующего определенной фазе частного затмения. Изогоны и изохроны вычисляются соответственно из условий равных позиционных углов P и одинаковых моментов времени начала и конца затмения.

*) Полуграфический, или смешанный, метод изложен в § 23 на стр. 149.

Решение систем уравнений приводит к определению географических координат точек земной поверхности, по которым уже наносятся на географическую карту изолинии. Точность вычисления географических координат должна составлять 0′,1, для чего вычисления проводятся с пятизначными таблицами.

Уравнения конических поверхностей лунной тени и полутени и уравнение земного сфероида имеют наиболее простой вид в особой прямоугольной геоцентрической системе координат, называемой *бесселевой системой прямоугольных координат.* Началом этой системы координат является центр Земли O (рис. 47), через который проходит основная плоскость xy

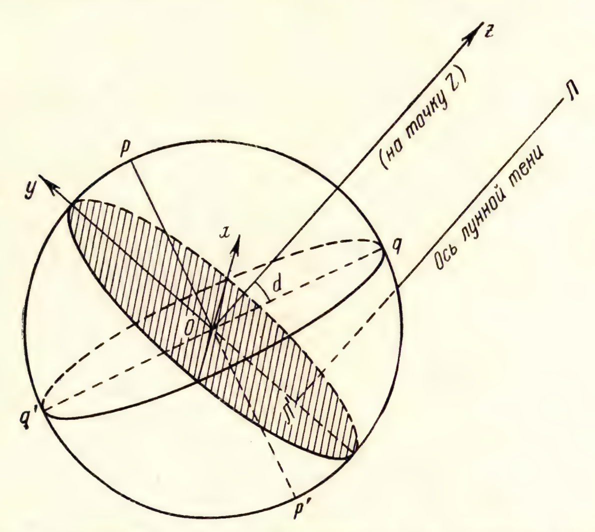


Рис. 47. Бесселева система прямоугольных координат: P и P' — северный и южный полюсы Земли, qq' — земной экватор, d — склонение точки Z.

координатной системы, всегда перпендикулярная к оси конуса лунной тени *ЛЛ′* (полутени). По мере суточного движения Луны и Солнца основная плоскость системы все время поворачивается по часовой стрелке. Линия пересечения основной плоскости с плоскостью земного экватора qq' служит осью x, положительным направлением которой считается направление в сторону движения лунной тени (в общем, к востоку). Ось y, перпендикулярная к оси x, лежит в основной плоскости, и ее положительным направлением считается направление в северное полушарие Земли (ее северный полюс обозначен p). Ось Z перпендикулярна к осям x и y, всегда параллельна оси конуса лунной тени, и ее положительным направлением считается направление в сторону Луны. Ось z пересекается с небесной сферой в точке, называемой точкой Z.

Введем следующие обозначения:

1. В бесселевой системе координат:

x, y, z — координаты центра Луны,

x', y', z' — изменения координат центра Луны за 1 минуту,

ξ, η, ζ — текущие координаты точек конической поверхности лунной тени и полутени, а также точек земной поверхности,

ξ', η', ζ' — изменения координат ξ, η, ζ за 1 минуту,

ρ — радиус Земли в произвольной точке ее поверхности (радиус-вектор точки земной поверхности),

ρ_0 — экваториальный радиус Земли (6378 *км*), принимаемый в расчетах за единицу измерения всех линейных величин ($\rho_0 = 1$),

f_e — угол между образующей конуса лунной полутени и его осью,

f_i — угол между образующей конуса лунной тени и его осью,

u_e — радиус сечения конуса лунной полутени основной координатной плоскостью xy,

u_i — радиус сечения конуса лунной тени основной координатной плоскостью,

l_e — радиус сечения конуса лунной полутени плоскостью математического горизонта места наблюдения,

l_i — радиус сечения конуса лунной тени плоскостью математического горизонта места наблюдения.

2. В экваториальной системе координат:

	Солнце	Луна	Точка Z
Геоцентрическое прямое восхождение	$\alpha_\odot$	$\alpha_☾$	a
Геоцентрическое склонение	$\delta_\odot$	$\delta_☾$	d
Изменение прямого восхождения за 1 минуту	$\Delta\alpha_\odot$	$\Delta\alpha_☾$	—
Изменение склонения за 1 минуту	$\Delta\delta_\odot$	$\Delta\delta_☾$	—
Геоцентрическое расстояние	$\Delta_\odot$	$\Delta_☾$	
Горизонтальный экваториальный параллакс	$p_\odot$	$p_☾$	
Угловой радиус	$r_\odot$	$r_☾$	
Часовой угол на начальном земном меридиане	—	—	μ
Изменение часового угла за одну минуту	—	—	μ'

При использовании всемирного времени за начальный меридиан принимается гринвичский меридиан. При использовании же эфемеридного времени за начальный принимается эфемеридный меридиан, расположенный к востоку от гринвичского на

$$\Delta\lambda = 1{,}0027 \cdot \Delta T \approx 1{,}003\,\Delta T,$$

где ΔT определяется формулой (1.194).

Считая восточную долготу положительной (что значительно удобнее, так как в этом случае время возрастает с ростом долготы), получим связь между географической долготой λ и эфемеридной долготой λ_e:

$$\lambda = \lambda_e + 1{,}0027 \cdot \Delta T. \qquad (1.195)$$

Если при вычислениях довольствоваться точностью не выше 1^s, то на протяжении долгого времени можно полагать

$$\lambda = \lambda_e + \Delta T, \tag{1.196}$$

так как лишь через 300 лет величина $0{,}0027 \cdot \Delta T$ превысит $0^s{,}5$.

Для численно равных моментов всемирного и эфемеридного времени часовые углы μ точки Z на гринвичском и эфемеридном меридианах одинаковы.

Бесселевыми элементами затмения *) называются величины x, y, x', y', d, u_e, u_i, $\operatorname{tg} f_e$, $\operatorname{tg} f_i$, μ и μ'.

В астрономических ежегодниках приводят следующие значения этих величин:

x, y, $\sin d$, $\cos d$, u_e, u_i и μ — через каждые 10 минут;

x' и y' — на каждый целый час (ввиду малого их изменения);

$\operatorname{tg} f_e$, $\operatorname{tg} f_i$ и μ' — одно значение для середины затмения, так как эти элементы в течение всего затмения практически остаются постоянными.

Здесь приняты те же обозначения бесселевых элементов, как в Астрономическом Ежегоднике СССР и Переменной части Астрономического Календаря ВАГО.

Уравнение конуса лунной тени (полутени) в бесселевой системе координат имеет вид

$$(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 = (u - \zeta \cdot \operatorname{tg} f)^2. \tag{1.197}$$

Уравнение земного сфероида

$$\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 = \rho^2. \tag{1.198}$$

Совместное решение (1.197) и (1.198) дает значение координат ξ, η и ζ точек земной поверхности, лежащих на границе лунной тени и полутени; по этим координатам находят географические координаты λ (долготу) и φ (широту) тех же точек. В местах земной поверхности с $\xi = 0$ затмение наблюдается в меридиане, а с $\zeta = 0$ — в горизонте.

Средние значения углов f_i и f_e и пределы их возможных изменений следующие:

$$f_i = 16'00'' \pm 18''; \quad f_e = 16'04'' \pm 18''.$$

Оба угла связаны между собой соотношениями

$$\operatorname{tg} f_i = 0{,}9950187 \cdot \operatorname{tg} f_e \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} f_e = 1{,}0050062 \cdot \operatorname{tg} f_i. \tag{1.199}$$

Величина u_e радиуса сечения лунной полутени всегда положительна, так как конус полутени расходящийся. Значение же u_i радиуса сечения лунной тени может быть и положительным, и отрицательным, в зависимости от вида затмения. При $u_i < 0$ затмение полное; при $u_i > 0$ оно может быть кольцеобразным.

---

*) С вычислениями бесселевых элементов можно познакомиться в книге А. А. Михайлова «Теория затмений» (Гостехиздат, 1954).

Критерием служит радиус l_i сечения конуса лунной тени плоскостью математического горизонта места наблюдения:

$$l_i = u_i - \zeta \operatorname{tg} f_i; \qquad (1.200)$$

при $l_i < 0$ затмение в данном месте полное; при $l_i > 0$ затмение кольцеобразное.

Приближенное значение разности (с точностью до четырех знаков)

$$u_e - u_i = 0{,}5464. \qquad (1.201)$$

Часовой угол точки Z

$$\mu = S - a,$$

где S — звездное время в данный момент T на начальном меридиане.

Минутное изменение μ' часового угла μ часто выражается в радианах.

Если кратчайшее расстояние центра Земли от оси конуса лунной тени $g > 0$, то ось конуса проходит севернее центра Земли; при $g < 0$ ось конуса тени проходит южнее центра Земли. Радиус ρ точек земной поверхности, в которых возможно касание лунной полутени, заключен в узких пределах (с учетом рефракции) $0{,}9972 < \rho < 0{,}9977$.

При $|g| < \rho - u_e$ полутень полностью вступает на Землю, т. е. обе ее границы (начала и конца затмения) проходят по земной поверхности (затмение первого типа). При $|g| > \rho - u_e$ полутень только частично падает на Землю и затмение имеет лишь одну границу, а вторая граница отсутствует и ее принято считать мнимой (затмение второго типа), причем при $g > 0$ отсутствует северная граница, а при $g < 0$ отсутствует южная граница затмения.

Предвычисление затмения для данного места земной поверхности. Пользуясь бесселевыми элементами затмения, можно определить условия видимости затмения в любом пункте земной поверхности. Каждая точка земной поверхности характеризуется географической долготой λ, географической широтой φ и радиусом-вектором ρ, т. е. расстоянием этой точки (пункта наблюдений) от центра Земли. В уравнения, по которым предвычисляются затмения, входят бесселевы координаты пункта наблюдений ξ, η и ζ, определяемые по λ, φ и ρ.

Однако бесселевы координаты связаны не с географической широтой φ, а с геоцентрической широтой φ'. Поэтому находят вспомогательный угол p, определяемый через $\sin p = e \sin \varphi$ и затем вычисляют

$$\rho \sin \varphi' = \frac{b^2 \sin \varphi}{\cos p}, \quad \rho \cos \varphi' = \frac{\cos \varphi}{\cos p}, \qquad (1.202)$$

где e — эксцентриситет земного меридиана пункта наблюдений и b — малая полуось земного сфероида, выраженная в долях $\rho_0 = 1$.

Для земного эллипсоида (см. § 1 гл. I) сжатие $\alpha = 1/298,25$, $e = 0,081820$, $\lg e = 8,912860 - 10$, $b = 0,996647$, $b^2 = 0,993306$ и $\lg b^2 = 9,997083 - 10$.

Тогда для определенного момента времени T

$$\left.\begin{aligned} \xi &= \rho\cos\varphi'\sin(\mu+\lambda),\\ \eta &= \rho\sin\varphi'\cos d - \rho\cos\varphi'\sin d\cos(\mu+\lambda),\\ \zeta &= \rho\sin\varphi'\sin d + \rho\cos\varphi'\cos d\cos(\mu+\lambda), \end{aligned}\right\} \qquad (1.203)$$

а их минутные изменения

$$\left.\begin{aligned} \xi' &= 0,004364\cdot\rho\cos\varphi'\cos(\mu+\lambda),\\ \eta' &= 0,004364\cdot\xi\sin d,\\ \zeta' &= -\,0,004364\cdot\xi\cos d. \end{aligned}\right\} \qquad (1.204)$$

Здесь и в дальнейшем необходимо иметь в виду, что при выражении T по всемирному времени в формулы подставляется географическая долгота λ; если же T выражено по эфемеридному времени, то в формулы подставляется эфемеридная долгота λ_e, определяемая из равенства (1.195) или (1.196). Значение часового угла μ в этих двух системах времени остается одинаковым.

Прежде всего следует вычислить координату ζ, так как при $\zeta < 0,15$ для получения точных результатов вычислений необходимо учитывать влияние рефракции. При затмении в горизонте ($\zeta = 0,00$) учет рефракции обязателен. Этот учет производится путем введения в величину ρ поправки $\Delta\rho$ согласно табл. III.

Таблица III

ζ	$\Delta\rho$	$\Delta\lg\rho$	ζ	$\Delta\rho$	$\Delta\lg\rho$
0,00	0,00028	0,00012	0,07	0,0004	0,0002
0,01	20	9	0,08	4	2
0,02	15	6	0,09	3	1
0,03	11	5	0,10	2	1
0,04	8	4	0,12	2	1
0,05	7	3	0,14	1	1
0,06	5	2			

Поправка $\Delta\rho$ прибавляется к ρ, а при логарифмических вычислениях $\Delta\lg\rho$ прибавляется к $\lg\rho$.

Если возникла необходимость во введении $\Delta\rho$, то из формул (1.202) вычисляется

$$\rho = +\sqrt{\left(\frac{b^2 \sin \varphi}{\cos p}\right)^2 + \left(\frac{\cos \varphi}{\cos p}\right)^2}, \tag{1.205}$$

затем, сообразно со значением ζ, из табл. III берется $\Delta\rho$ и вычисляется коэффициент

$$\varkappa = 1 + \frac{\Delta\rho}{\rho}, \tag{1.206}$$

на который множатся значения $\rho \sin \varphi'$ и $\rho \cos \varphi'$, вычисленные по формуле (1.202).

Кроме того, в ρ приходится вводить поправку ΔH на высоту H пункта наблюдений над уровнем моря. Эта поправка

$$\text{для} \quad \rho \sin \varphi' \quad \text{равна} \ \Delta H_s = \frac{H \sin \varphi}{6378}, \tag{1.207}$$

$$\text{для} \quad \rho \cos \varphi' \quad \text{равна} \ \Delta H_c = \frac{H \cos \varphi}{6378}, \tag{1.208}$$

где H выражено в километрах.

В общем случае, когда приходится учитывать поправки $\varkappa$ и ΔH, в формулы (1.203) и (1.204) подставляются значения

$$\left.\begin{aligned} \rho \sin \varphi' &= \varkappa \frac{b^2 \sin \varphi}{\cos p} + \Delta H_s \\ \text{и} \qquad \rho \cos \varphi' &= \varkappa \frac{\cos \varphi}{\cos p} + \Delta H_c. \end{aligned}\right\} \tag{1.209}$$

В частных случаях могут быть $\varkappa = 1$ и $\Delta H = 0$.

После определения ξ, η и ζ полезно проверить правильность вычислений. Для этого следует вычислить ρ из формул (1.209)

$$\rho = \sqrt{\left(\varkappa \frac{b^2 \sin \varphi}{\cos p} + \Delta H_s\right)^2 + \left(\varkappa \frac{\cos \varphi}{\cos p} + \Delta H_c\right)^2}$$

и результаты сравнить с

$$\rho = \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2}. \tag{1.210}$$

Значения ρ из этих двух формул должны быть близкими друг к другу и совпадать в четвертом десятичном знаке.

Радиус полутени l_e на плоскости математического горизонта пункта наблюдения может быть вычислен по радиусу u_e полутени на основной плоскости бесселевых координат и по тангенсу угла f_e между осью и образующей конуса полутени.

$$l_e = u_e - \zeta \operatorname{tg} f_e. \tag{1.211}$$

Величины u_e и $\operatorname{tg} f_e$ берутся на данный момент T из таблицы бесселевых элементов затмения.

Точно так же радиус l_i тени на плоскости математического горизонта определяется по радиусу u_i тени на основной плоскости

и по углу f_i:

$$l_i = u_i - \zeta \operatorname{tg} f_i. \qquad (1.212)$$

Расстояние m места наблюдения от оси конуса лунной тени (от линии центрального затмения) определяется по формуле

$$m^2 = (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2. \qquad (1.213)$$

Для удобства дальнейших вычислений вводят величины M, N и n. Полагают:

$$\left.\begin{aligned} x - \xi &= m \sin M, & x' - \xi' &= n \sin N, \\ y - \eta &= m \cos M, & y' - \eta' &= n \cos N, \end{aligned}\right\} \qquad (1.214)$$

где $m > 0$ и $n > 0$ [m есть величина из формулы (1.213)].

На заданный момент T вычисляют M, N и n по формулам

и $$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg} M &= \frac{x - \xi}{y - \eta}, \quad \operatorname{tg} N = \frac{x' - \xi'}{y' - \eta'} \\ n &= + \sqrt{(x' - \xi')^2 + (y' - \eta')^2}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.215)$$

Значения углов M и N выбираются в соответствии со знаками в формулах (1.214).

Позиционные углы P точек касания лунного и солнечного дисков определяются равенством

$$\sin (P - N) = \frac{m}{l_e} \sin (M - N), \qquad (1.216)$$

причем для начала затмения (первый контакт) $l_e \cos (P - N) < 0$, а для конца затмения (последний или четвертый контакт) $l_e \cos (P - N) > 0$.

Затем находят

$$P = (P - N) + N. \qquad (1.217)$$

Формулы (1.216) и (1.217) и позволяют также определить позиционные углы точек касания в моменты второго контакта (начало полного затмения) и третьего контакта (конец полного затмения). Для этого решают уравнение (1.216) на соответствующие моменты времени, заменяя в нем l_e на l_i:

$$\sin (P - N) = \frac{m}{l_i} \sin (M - N), \qquad (1.218)$$

причем для второго контакта $l_i \cos (P - N) < 0$, а для третьего контакта $l_i \cos (P - N) > 0$. Позиционные углы P вычисляют по формуле (1.217).

Моменты T любой фазы затмения, в том числе его начала и конца, определяют по исходным (начальным) моментам T_u, лежащим вблизи интересующих нас моментов. Пусть моментом начала (или конца) затмения будет $T_н$ (или $T_к$), вблизи которого лежит момент T_u с известными для него бесселевыми эле-

ментами затмения. Тогда искомый момент

$$T_н = T_u + t, \qquad (1.219)$$

где t выражено в минутах времени и определяется равенством

$$t = \frac{1}{n}[l \cos(P - N) - m \cos(M - N)]. \qquad (1.220)$$

Для частного затмения (в том числе и для внешних контактов) $l = l_e = u_e - \zeta \operatorname{tg} f_e$; для полного и кольцеобразного затмения $l = l_i = u_i - \zeta \operatorname{tg} f_i$.

Этот исходный момент T_u может быть выбран по карте солнечного затмения. Если T_u выбран удачно, то значение t не превосходит нескольких минут и может считаться достаточным для определения искомого момента по формуле (1.219). Если же t оказалось бо́льшим 10 минут (интервал, на который даются бесселевы элементы), полученный момент $T_u + t$ округляется до целой минуты и принимается за новый исходный момент, для которого заново проводят все вычисления по формулам (1.203)—(1.217) и снова по формуле (1.220) определяют t. Обычно второго вычисления вполне достаточно для определения соответствующих моментов по формуле (1.219). Вычисления проводят с пятизначными таблицами, но для величин ξ', η' и n сохраняется точность до шестого знака, а для $(x' - \xi')$ и $(y' - \eta')^2$ — до восьмого знака.

Момент наибольшей фазы

$$T_m = T_0 + t_m, \qquad (1.221)$$

где

$$t_m = -\frac{m}{n}\cos(M - N), \qquad (1.222)$$

причем все величины правой части равенства берутся для момента T_0 геоцентрического соединения Луны с Солнцем.

Продолжительность τ полной и кольцеобразной фаз затмения определяется формулой

$$\tau = 2 \cdot \frac{l_i}{n} \cdot \cos(P - N). \qquad (1.223)$$

Соответствующие моменты времени можно вычислить и другим путем. По карте солнечного затмения находят моменты времени, близкие к моментам контактов. Далее, для ряда целых минут вблизи этих моментов вычисляют l (т. е. l_e или l_i), m, M, и интерполяцией находят моменты T, для которых $l = m$. При частном и кольцеобразном затмении ($l_i > 0$) в эти моменты позиционный угол $P = M$; при полном затмении ($l_i < 0$) и $P = M \mp 180°$.

Если для точек касания лунного и солнечного дисков требуется определить их углы положения P_z от зенита, то

$P_z = P - \gamma$, причем

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\xi}{\eta}. \tag{1.224}$$

Линейная фаза затмения Φ для любого момента времени, в том числе и наибольшая линейная фаза Φ_m частного затмения, вычисляется по формуле

$$\Phi = \frac{l_e - m \sin (M - N)}{l_e + l_i}. \tag{1.225}$$

Поскольку $l_e + l_i = 2l_e - (l_e - l_i)$, а различие между f_e и f_i не превышает 4″, можно принять по формуле (1.201) $l_e - l_i = u_e - u_i = 0{,}5464$, и тогда

$$\Phi = \frac{l_e - m \sin (M - N)}{2 \cdot l_e - 0{,}5464}, \tag{1.226}$$

что позволяет обойтись без знания l_i, которое для частных затмений не вычисляется.

Наибольшая линейная фаза Φ_m полного затмения вычисляется из условия $M - N = \mp 90°$, т. е. $|\sin (M - N)| = 1$.

Для пунктов наблюдений, расположенных к северу от линии центрального затмения, $M - N = -90°$, а для пунктов, лежащих к югу от той же линии, $M - N = +90°$.

Тогда из формул (1.225) и (1.226) получаем

$$\Phi_m = \frac{l_e - m}{l_e - l_i} \tag{1.227}$$

или

$$\Phi_m = \frac{l_e - m}{2 \cdot l_e - 0{,}5464}. \tag{1.228}$$

Если требуется найти угловое расстояние σ между центрами солнечного и лунного дисков в различные моменты затмения, то оно определяется так:

$$\sigma = 2 \cdot r_\odot \frac{m}{l_e + l_i}, \tag{1.229}$$

где $r_\odot$ — угловой радиус Солнца.

Часто бывает необходимо знать открытую часть $n_\odot$ углового диаметра солнечного диска, а также *поверхностную фазу* затмения $\Phi_0 = \frac{s}{s_\odot}$, т. е. отношение площади s части солнечного диска, покрытой Луной, ко всей площади $s_\odot$ солнечного диска. Эти величины могут быть найдены по формулам

$$n_\odot = 2r_\odot (1 - \Phi) = 2r_\odot \frac{l_i + m}{l_e + l_i}, \tag{1.230}$$

$$\Phi_0 = 1 - \Phi_g, \tag{1.231}$$

где Φ_g — *геометрическая фаза* затмения, представляющая собой часть солнечного диска, не закрытую Луной и выражаемую в долях площади $s_\odot$ солнечного диска.

Подсчет Φ_0 непосредственно через линейную фазу Φ затмения производится по формуле

$$\Phi_0 = \frac{1}{\pi}(b^2\psi_1 + \psi_2 - \nu), \tag{1.232}$$

причем

$$\pi = 3{,}14159, \quad b = \frac{r_☾}{r_\odot},$$

$$\nu = 2 \cdot \sqrt{\Phi(1-\Phi)(b-\Phi)(b+1+\Phi)}, \tag{1.233}$$

а углы ψ_1 и ψ_2 выражаются в радианах и определяются формулами

$$\sin\psi_2 = \frac{\nu}{b+1-2\Phi} \quad \text{и} \quad \sin\psi_1 = \frac{\sin\psi_2}{b}. \tag{1.234}$$

Ниже приводятся значения Φ_0 для некоторых значений b и Φ (табл. IV).

Таблица IV

b \ Φ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,90	0,03639	0,10110	0,18248	0,27581	0,37805
0,95	0,03688	0,10256	0,18538	0,28057	0,38490
1,00	0,03738	0,10409	0,18812	0,28476	0,39100
1,04	0,03776	0,10516	0,19012	0,28788	0,39543
1,07	0,03803	0,10593	0,19155	0,29008	0,39851

b \ Φ	0,6	0,7	0,8	0,9
0,90	0,48681	0,59986	0,71402	0,81000
0,95	0,49635	0,61297	0,73292	0,85300
1,00	0,50462	0,62384	0,74707	0,87289
1,04	0,51051	0,63129	0,75610	0,88313
1,07	0,51455	0,63629	0,76193	0,88899

Вычисление моментов начала и конца частного затмения на Земле вообще. Задача сводится к вычислению моментов и географических координат λ и φ точек земной поверхности, в которых полутень Луны вступает на Землю или сходит с Земли.

Основными уравнениями затмения являются:

$$\left.\begin{aligned} (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 = (u_e - \zeta \operatorname{tg} f_e)^2 = l_e^2, \\ \xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 = \rho^2. \end{aligned}\right\} \tag{1.235}$$

В моменты начала и конца частного затмения на Земле вообще, т. е. в моменты внешнего касания лунной полутенью

земного сфероида, $\zeta = 0$ и поэтому

$$\left.\begin{aligned}(x-\xi)^2+(y-\eta)^2&=u_e^2,\\ \xi^2+\eta^2&=\rho^2.\end{aligned}\right\} \qquad (1.236)$$

Кроме того,

$$x^2+y^2=(u_e+\rho)^2, \qquad (1.237)$$

так как в эти моменты расстояние между центром Земли (центр бесселевых прямоугольных координат) и точкой пересечения оси лунной полутени с основной плоскостью xy равно $u_e+\rho$.

Из таблицы бесселевых элементов затмения выписываем на исходный момент $T_ц$ близкий к моменту начала затмения $T_н$, координаты Луны $x_ц$, $y_ц$, их минутные изменения x', y' и радиус конуса лунной полутени u_e.

Полагая

$$T_н = T_ц + t, \qquad (1.238)$$

получим на момент $T_н$

$$x = x_ц + x't, \quad y = y_ц + y't, \qquad (1.239)$$

откуда согласно (1.218)

$$(x_ц + x't)^2 + (y_ц + y't)^2 = (u_e + \rho)^2. \qquad (1.240)$$

При $\zeta = 0$ поправка за рефракцию $\Delta\rho = 0{,}00028$ (см. стр. 120).

Считая в первом приближении $\rho = 1{,}00028$, можем найти t по формуле

$$t = \frac{-\left(x_ц x' + y_ц y'\right) \pm \sqrt{\left(x_ц x' + y_ц y'\right)^2 - \left(x'^2 + y'^2\right)\left[x_ц^2 + y_ц^2 - (u_e+\rho)^2\right]}}{x'^2 + y'^2}, \qquad (1.241)$$

либо тригонометрическим путем, для чего положим

$$\left.\begin{aligned}x_ц &= a\sin A, & y_ц &= a\cos A,\\ x' &= b\sin B, & y' &= b\cos B,\end{aligned}\right\} \qquad (1.242)$$

причем $a > 0$ и $b > 0$.

Отсюда находим:

$$\left.\begin{aligned}a &= +\sqrt{x_ц^2 + y_ц^2}, & \operatorname{tg} A &= \frac{x_ц}{y_ц},\\ b &= +\sqrt{x'^2 + y'^2}, & \operatorname{tg} B &= \frac{x'}{y'};\end{aligned}\right\} \qquad (1.243)$$

здесь A и B определяются однозначно по знакам $x_ц$, $y_ц$, x' и y'.

Далее ищем промежуточный аргумент ω_1,

$$\sin\omega_1 = \frac{a}{u_e+\rho}\sin(A-B), \qquad (1.244)$$

и интервал времени в минутах

$$t = -\frac{a\sin[\omega_1-(A-B)]}{b\sin\omega_1}. \qquad (1.245)$$

Аргумент ω_1 и интервал t имеют два значения, одно из которых ($\omega_н$, $t_н$) соответствует началу, а другое ($\omega_к$, $t_к$) — концу затмения. Первые приближения моментов начала ($T_н$) и конца ($T_к$) частного затмения на Земле получим так:

$$T_н = T_ц + t_н, \quad T_к = T_ц + t_к. \tag{1.246}$$

Линейной интерполяцией бесселевых элементов находим на вычисленные моменты $T_н$ и $T_к$ значения x, y, x', y', $\sin d$, $\cos d$, u_e и μ. Полагая снова $\rho = 1{,}00028$, найдем бесселевы координаты точек земной поверхности

$$\xi = \rho \frac{x}{u_e + \rho} \quad и \quad \eta = \rho \frac{y}{u_e + \rho}, \tag{1.247}$$

часовой угол μ_λ точки Z в искомом пункте земной поверхности по формуле

$$\operatorname{ctg} \mu_\lambda = -\frac{\eta}{\xi} \sin d, \tag{1.248}$$

и геоцентрическую широту φ' искомого пункта по

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{\eta}{\xi} \sin \mu_\lambda \cos d. \tag{1.249}$$

Для начала затмения $180° < \mu_\lambda < 360°$; для конца затмения $0° < \mu_\lambda < 180°$.

Найдя значение $\sin \varphi'$, вычислим радиус ρ Земли в данном пункте ($\xi, \eta, \zeta = 0$):

$$\rho = 1 - 0{,}003369 \cdot \sin^2 \varphi'. \tag{1.250}$$

С этим значением ρ (с учетом $\Delta\rho$) вычисляем в отдельности второе приближение моментов начала и конца затмения ($T'_н$ и $T'_к$). Для этого за исходный момент $T_ц$ принимаем поочередно вычисленные значения $T_н$ и $T_к$, а x и y на эти моменты принимаем за $x_ц$ и $y_ц$. По формулам (1.241) — (1.246) повторяем вычисления заново и находим второе приближение моментов начала $T'_н$ и конца $T'_к$ затмения.

Если исходный момент $T_ц$ близок к $T_н$, то второго приближения $T'_н$ и $T'_к$ бывает вполне достаточно и они могут быть приняты за моменты начала и конца затмения на Земле вообще. Разница $T_н - T'_н$ и $T_к - T'_к$ не должна превышать 0,1 минуты. При большей разнице необходимо вычисление третьего приближения $T''_н$ и $T''_к$ по $T'_н$ и $T'_к$, для чего по формулам (1.247) — (1.250) следует вычислить новые значения φ' и ρ.

На принятые окончательные значения моментов начала $T_н$ и конца $T_к$ затмения находят линейной интерполяцией бесселевы элементы x, y, $\sin d$, $\cos d$, u_e и μ и, с уточненным значением ρ, вычисляют по (1.248) — (1.249) μ_λ и $\operatorname{tg} \varphi'$, а по ним — географические координаты λ и φ пунктов вступления на Землю и ухода с Земли лунной полутени:

$$\lambda = \mu_\lambda - \mu, \quad \operatorname{tg} \varphi = 1{,}00675 \cdot \operatorname{tg} \varphi'. \tag{1.251}$$

Вычисление изохрон. Решение этой задачи сводится к вычислению географических координат λ и φ тех точек земной поверхности, в которых начало или конец частного затмения происходит в один и тот же момент по всемирному (среднему гринвичскому) или эфемеридному времени. Задаемся определенным моментом времени T, для него выписываем из таблицы бесселевых элементов величины x, y, $\sin d$, $\cos d$, u_e, μ и $\operatorname{tg} f_e$.

Далее, по уравнениям

$$\left.\begin{aligned}(x-\xi)^2+(y-\eta)^2=(u_e-\zeta\operatorname{tg} f_e)^2=l_e^2,\\ \xi^2+\eta^2=\rho^2-\zeta^2=q^2\end{aligned}\right\} \quad (1.235)$$

вычисляем ξ и η, а по ним λ и φ.

Для этого положим

$$\left.\begin{aligned}x=m\sin M,\quad y=m\cos M,\\ \xi=q\sin N,\quad \eta=q\cos N,\end{aligned}\right\} \quad (1.252)$$

причем $m>0$, $q>0$.

По известным для момента T значениям x и y находим

$$m=+\sqrt{x^2+y^2} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} M=\frac{x}{y}, \quad (1.253)$$

откуда однозначно определяем M по знакам x и y.

Задаваясь последовательными значениями ζ через каждые 0,1 (например, $\zeta=0{,}0$; 0,1; 0,2 и т. д.) и полагая в первом приближении $\rho=1$, находим из уравнений (1.235) значения q^2 и $q>0$ для различных ζ. Для тех же значений вычисляем $l_e^2=(u_e-\zeta\operatorname{tg} f_e)^2$, после чего находим

$$\cos(M-N)=\frac{m^2+q^2-l_e^2}{2\cdot mq}, \quad (1.254)$$

дающий два значения $(M-N)$, а следовательно, два значения N, так как M имеет только одно значение:

$$N=M-(M-N). \quad (1.255)$$

Зная N и q, по формулам (1.252) находим бесселевы координаты ξ и η двух точек земной поверхности, соответствующих углам N и принадлежащих: одна — изохроне начала, а другая — изохроне конца частного затмения.

Далее, по формулам

$$\left.\begin{aligned}\operatorname{ctg}\mu_\lambda=\frac{\zeta\cos d-\eta\sin d}{\xi}\\ \text{и}\qquad\qquad\\ \operatorname{tg}\varphi'=\frac{\sin\mu_\lambda}{\xi}(\zeta\sin d+\eta\cos d)\end{aligned}\right\} \quad (1.256)$$

вычисляем μ_λ и φ', находим $\sin^2\varphi'$ и по (1.250) определяем $\rho=1-0{,}003369\cdot\sin^2\varphi'$; $\lg 0{,}003369=7{,}52753-10$.

С полученным значением ρ повторяем все вычисления сначала и по найденным μ_λ и $\operatorname{tg}\varphi'$ находим $\lambda = \mu_\lambda - \mu$ и φ из

$$\operatorname{tg}\varphi = 1{,}00675 \cdot \operatorname{tg}\varphi'. \qquad (1.251)$$

Вычисления для разных моментов T дадут пары других точек, по которым строятся изохроны. Восточные стороны изохроны относятся к началу частного затмения, а западные — к его концу. На восточную и западную стороны изохроны делятся своими точками прикосновения к северной и южной границам затмения, или к одной из границ, если вторая является мнимой (отсутствует).

Изохроны, вычисленные для $\zeta=0{,}0$, являются границами начала и конца затмения при восходе и заходе Солнца. Следует помнить, что при $\zeta = 0{,}0$ значение ρ должно быть увеличено на 0,00028 и в формулы с самого начала подставляется $\rho=1{,}00028$.

Вычисление изофаз. Вычисление изофаз следует начинать с больших фаз частного затмения и постепенно переходить к меньшим фазам. Можно рекомендовать сначала вычислять изофазы через интервалы фазы $\Delta\Phi = 0{,}1$, т. е. для $\Phi_m = 0{,}9$; 0,8; 0,7 и т. д., а затем, в случае необходимости, и для промежуточных значений Φ_m.

Задаемся определенной фазой Φ_m и определенным моментом времени T, для которого выписываем из таблицы бесселевых элементов x, y, x', y', $\sin d$, $\cos d$, u_e, μ и $\operatorname{tg} f_e$.

Для вычислений имеем соотношения:

$$l_e = u_e - \zeta \operatorname{tg} f_e; \qquad (1.211)$$

$$m = l_e (1 - 2\Phi_m) + 0{,}5464 \cdot \Phi_m; \qquad (1.228)$$

$$x - \xi = m \sin M, \quad y - \eta = m \cos M; \qquad (1.214)$$

$$\operatorname{tg} M = \frac{x-\xi}{y-\eta}, \quad \operatorname{tg} N = \frac{x'-\xi'}{y'-\eta'} \qquad (1.215)$$

и

$$\zeta^2 = \rho^2 - \xi^2 - \eta^2. \qquad (1.235)$$

По условию наибольшей фазы $\operatorname{tg} M = -\operatorname{ctg} N$, поэтому из (1.215) имеем

$$\operatorname{tg} M = \frac{x-\xi}{y-\eta} = -\frac{y'-\eta'}{x'-\xi'}.$$

Полагая в первом приближении $\zeta = 0$, $\xi' = 0$ и $\eta' = 0$, находим по формуле (1.211) $l_e = u_e$, по формуле (1.228) $m = u_e(1 - 2\Phi_m) + 0{,}5464\,\Phi_m$ и по формуле (1.215) $\operatorname{tg} M = -\frac{y'}{x'}$.

Получаем два значения M, одно из которых соответствует точке земной поверхности к югу от линии центрального затмения, а другое — к северу от нее.

Далее, по формуле (1.214) вычисляем ξ и η для двух значений M и, полагая $\rho = 1$, находим по формуле (1.235) величину ζ, после чего определяем ξ' и η':

$$\left.\begin{aligned} \xi' &= 0{,}004364 \cdot (\zeta \cos d - \eta \sin d), \\ \eta' &= 0{,}004364 \cdot \xi \sin d. \end{aligned}\right\} \qquad (1.257)$$

С полученными значениями ζ, ξ' и η' снова вычисляем по формулам (1.211), (1.228) и (1.215) l_e, m и два значения M и затем по формулам (1.214) и (1.235) — новые, уточненные значения ξ, η и ζ.

По уточненным значениям ξ, η и ζ определяем из формул (1.256) часовой угол μ_λ и геоцентрическую широту φ', по которой вычисляем уточненное значение ρ [формула (1.250)].

С уточненными значениями ρ, ζ, ξ' и η' повторяем все вычисления заново до тех пор, пока не будут получаться одинаковые значения M (различные для точек к северу и к югу от центральной линии затмения), которые принимаются за окончательные. По этим значениям M находим окончательные значения ξ, η, ζ, μ_λ и φ', по которым вычисляются λ и φ точек данной изофазы [формулы (1.256) и (1.251)].

Нужно иметь в виду, что некоторые точки окажутся мнимыми и их следует отбросить. Отбор точек изофазы может быть проведен по характеру положения изофазы на карте затмения.

Если в тех же формулах положить $m = l_i$, то будут вычислены λ и φ границ полного или кольцеобразного затмения.

Северная и южная границы затмения. Северная и южная границы затмения представляют собой геометрическое место точек соединения (стыка) изохрон начала и конца затмения, относящихся к одному и тому же моменту. Поэтому, если на карту нанесены изохроны начала и конца, то, соединяя плавной кривой их точки стыка, можно получить на карте северную и южную границы затмения, так как географические координаты λ и φ, общие для изохрон начала и конца частного затмения, относящихся к одному моменту времени, будут одновременно координатами λ и φ северной и южной границ затмения. Поэтому вычислять λ и φ для обеих границ отдельно нет необходимости, хотя это вполне возможно осуществить, если в формуле (1.228) положить $\Phi_m = 0$, т. е. $m = l_e$. В этом случае вычисления дадут λ и φ точек северной и южной границ частного затмения, одна из которых может оказаться мнимой (затмение второго рода).

Вычисление изогон. Изогоны начала и конца затмения могут быть вычислены попутно с вычислением изохрон из условий

$$\left.\begin{aligned} x - \xi &= l_e \cdot \sin P, \\ y - \eta &= l_e \cdot \cos P, \end{aligned}\right\} \qquad (1.258)$$

где P — позиционный угол, который в момент начала затмения $P > 180°$, а в момент конца $P < 180°$. Следовательно, поскольку на определенные моменты T при вычислении изохрон известны x, y, ξ, η и l_e, можно для вычисленных λ и φ определить P. Соединяя на карте точки с одинаковыми P при начале (или конце) частного затмения, получим изогоны начала (или конца) частного затмения.

Изогоны углов положения P_z получаются аналогично, если соединять на карте точки с одинаковыми $P_z = P - \gamma$.

В северных широтах, при $\varphi > 23° 27'$, всегда $\gamma < 90°$.

Можно независимо определить λ и φ точек изогон для определенного момента времени T по бесселевым элементам x, y, $\cos d$, $\sin d$, u_e, μ и $\operatorname{tg} f_e$.

Для этого задаются определенным углом P и, полагая в первом приближении $l_e = u_e$ и $\rho = 1$, из условий (1.258) находят

$$\left.\begin{aligned} \xi &= x - u_e \sin P, \\ \eta &= y - u_e \cos P \end{aligned}\right\}$$

и ζ, определяемую через $\zeta^2 = \rho^2 - \xi^2 - \eta^2$.

Далее, по формулам (1.211), (1.256) и (1.250) находят l_e, μ_λ, $\operatorname{tg} \varphi'$ и уточненное значение ρ. С полученными ρ и l_e снова вычисляют ξ, η и ζ и повторяют вычисление μ_λ и $\operatorname{tg} \varphi'$, по которым уже определяют λ и φ.

Если есть необходимость вычислить λ и φ для заданных значений угла положения от зенита P_z, то на определенный момент времени T находят

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{ctg} \vartheta &= \frac{y}{x} \\ \text{и} \qquad & \\ \sin(\vartheta - \gamma) &= \frac{l_e \sin P_z \sin \vartheta}{x}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.259)$$

Вычислив отсюда γ, получают $P = P_z + \gamma$ и тем самым сводят задачу к предыдущему случаю определения λ и φ по P.

Положение линии центрального затмения. Географические координаты λ и φ точек земной поверхности, находящихся на линии центрального затмения (т. е. в середине полосы полного или кольцеобразного затмения), могут быть определены из условия $m = 0$, т. е. $(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 = 0$, что возможно лишь при

$$\xi = x \quad \text{и} \quad \eta = y. \qquad (1.260)$$

Следовательно, беря для определенного момента времени T бесселевы элементы x, y, $\sin d$, $\cos d$, μ и полагая сначала $\rho = 1$, находят

$$\zeta^2 = \rho^2 - x^2 - y^2 \qquad (1.261)$$

и затем

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{ctg} \mu_\lambda &= \frac{\zeta \cos d - y \sin d}{x}, \\ \operatorname{tg} \varphi' &= \frac{\sin \mu_\lambda}{x} (\zeta \sin d + y \cos d). \end{aligned}\right\} \quad (1.262)$$

Далее, по формуле (1.250) находят ρ, по формуле (1.261) уточняют значение ζ и снова вычисляют μ_λ и $\operatorname{tg} \varphi'$, по которым определяются λ и φ [формула (1.251)].

Вычисление солнечных затмений по дифференциальным поправкам. Обстоятельства затмения в каком-либо произвольном пункте F с географическими координатами λ, φ могут быть вычислены по известным обстоятельствам затмения близлежащего пункта F_1 с географическими координатами λ_1, φ_1, что особенно удобно в экспедиционных условиях.

Пусть известны обстоятельства затмения в пункте $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$, геоцентрические координаты которого суть ρ_1 и φ'_1. Обозначим через T_1 момент начала частного затмения в пункте $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$, и пусть для этого момента бесселевы координаты этого пункта будут ξ_1, η_1, ζ_1, минутные изменения ξ'_1 и η'_1, часовой угол точки Z в этом пункте μ_{λ_1} и бесселевы элементы x, y, x', y', $\sin d$, $\cos d$, μ. Очевидно, что

$$\mu_{\lambda_1} = \mu + \lambda_1. \quad (1.251)$$

Образуем разности:

$$\left.\begin{aligned} a &= x' - \xi'_1, \quad & b &= y' - \eta'_1, \\ X &= x - \xi_1, \quad & Y &= y - \eta_1. \end{aligned}\right\} \quad (1.263)$$

По этим разностям вычислим коэффициенты:

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{Y\rho_1 \cos \varphi'_1 \cos d + Y\rho_1 \sin \varphi'_1 \sin d \cos \mu_{\lambda_1} - X\rho_1 \sin \varphi'_1 \sin \mu_{\lambda_1}}{aX + bY}, \\ B &= \frac{X\rho_1 \cos \varphi'_1 \cos \mu_{\lambda_1} + Y\rho_1 \cos \varphi'_1 \sin d \sin \mu_{\lambda_1}}{aX + bY}. \end{aligned}\right\} \quad (1.264)$$

Найдем разности географических координат двух пунктов: $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_1$ и $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_1$, причем λ и λ_1 считаются в одну сторону — к востоку. Тогда поправка времени Δt на начало частного затмения в пункте $F(\lambda, \varphi)$ будет

$$\Delta t = A \cdot \Delta\varphi + B \cdot \Delta\lambda, \quad (1.265)$$

причем $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ выражены в радианах, а Δt — в часах среднего времени.

Поскольку удобнее $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ выражать в минутах или секундах дуги, а Δt — в минутах или секундах времени, необходимо в формулу (1.265) ввести переводной коэффициент β, зависящий от принятых единиц измерения, согласно табл. V.

Таблица V

Δt	$\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ в минутах дуги (′)	$\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ в секундах дуги (″)
В минутах времени	$\beta = 0{,}017453$ $\lg\beta = 8{,}241870-10$	$\beta = 0{,}000291$ $\lg\beta = 6{,}463893-10$
В секундах времени	$\beta = 1{,}047196$ $\lg\beta = 0{,}020013$	$\beta = 0{,}017453$ $\lg\beta = 8{,}241870-10$

Тогда

$$\Delta t = \beta(A\,\Delta\varphi + B\,\Delta\lambda) \tag{1.265'}$$

и момент начала частного затмения в пункте $F(\lambda, \varphi)$

$$T = T_1 + \Delta t. \tag{1.266}$$

Для определения позиционного угла P начала затмения в пункте $F(\lambda, \varphi)$ находят поправки Δ_x и Δ_y:

$$\left.\begin{aligned}\Delta_x &= w\left(\rho_1 \sin\varphi_1' \sin\mu_{\lambda_1}\,\Delta\varphi - \rho_1\cos\varphi_1'\cos\mu_{\lambda_1}\,\Delta\lambda\right),\\ \Delta_y &= -\,w\left(\rho_1\cos\varphi_1'\cos d\,\Delta\varphi + \rho_1\sin\varphi_1'\sin d\cos\mu_{\lambda_1}\,\Delta\varphi + \right.\\ &\qquad\left. + \rho_1\cos\varphi_1'\sin d\sin\mu_{\lambda_1}\,\Delta\lambda\right).\end{aligned}\right\} \tag{1.267}$$

Здесь w — коэффициент, зависящий от единиц измерения $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$; если $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ выражены в минутах дуги (′), то $w = 0{,}00029089$ и $\lg w = 6{,}463726 - 10$; если же $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ выражены в секундах дуги (″), то $w = 0{,}000004848$ и $\lg w = 4{,}685575 - 10$.

Тогда поправка ΔP к позиционному углу P_1 (в пункте λ_1, φ_1) будет

$$\Delta P = \frac{\cos^2 P_1}{Y^2}(Y\Delta_x - X\Delta_y), \tag{1.268}$$

откуда искомый позиционный угол

$$P = P_1 + \Delta P. \tag{1.269}$$

Взяв для пункта $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$ значения ξ_1, η_1, ζ_1, ξ_1', η_1', μ_{λ_1}, x, y, x', y', $\sin d$, $\cos d$, μ на момент конца частного затмения (или на другие моменты, в частности на момент наибольшей фазы), вычисляют по тем же формулам соответствующие моменты и позиционные углы в пункте $F(\lambda, \varphi)$. Таким образом, вычисления, по существу, сводятся к отысканию коэффициентов A и B на определенные моменты времени. Эти коэффициенты легко могут быть найдены, если по независимым вычислениям известны обстоятельства затмения еще в каких-либо двух пунктах: $F_2(\lambda_2, \varphi_2)$ и $F_3(\lambda_3, \varphi_3)$.

Беря на какой-нибудь момент затмения (например, на начало) разности во времени наступления этого момента для

пунктов $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$, $F_2(\lambda_2, \varphi_2)$ и $F_3(\lambda_3, \varphi_3)$, получим

$$\left.\begin{aligned} \Delta t_2 = T_{\lambda_2} - T_{\lambda_1} = A\,\Delta\varphi_2 + B\,\Delta\lambda_2, \\ \Delta t_3 = T_{\lambda_3} - T_{\lambda_1} = A\,\Delta\varphi_3 + B\,\Delta\lambda_3, \end{aligned}\right\} \qquad (1.270)$$

откуда, решая эти уравнения, находим A и B:

$$\left.\begin{aligned} A = \frac{\Delta t_2\,\Delta\lambda_3 - \Delta t_3\,\Delta\lambda_2}{\Delta\varphi_2\,\Delta\lambda_3 - \Delta\varphi_3\,\Delta\lambda_2} \cdot \frac{1}{\beta}, \\ B = \frac{\Delta t_2\,\Delta\varphi_3 - \Delta t_3\,\Delta\varphi_2}{\Delta\varphi_3\,\Delta\lambda_2 - \Delta\varphi_2\,\Delta\lambda_3} \cdot \frac{1}{\beta}, \end{aligned}\right\} \qquad (1.271)$$

где β — коэффициент по табл. V.

По λ_1 и φ_1 исходного пункта $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$ можно вычислить точки изохрон, если для определенной разности Δt задаваться значениями λ и по ним определять φ. Тогда

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_1, \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta t - \beta B\,\Delta\lambda}{\beta A} \quad \text{и} \quad \varphi = \varphi_1 + \Delta\varphi. \qquad (1.272)$$

Аналогично для получения изофаз и изогон находят для соответствующих моментов времени значения A и B и вычисляют λ и φ по поправкам $\Delta\Phi$ и ΔP относительно Φ_1 и P_1 исходного пункта $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$.

Для изофаз, задаваясь $\Delta\Phi$ и λ, получим

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_1, \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta\Phi - wB\,\Delta\lambda}{wA}, \quad \varphi = \varphi_1 + \Delta\varphi. \qquad (1.273)$$

Для изогон, задаваясь ΔP и λ, получим:

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_1, \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta P - wB\,\Delta\lambda}{wA}, \quad \varphi = \varphi_1 + \Delta\varphi. \qquad (1.274)$$

Наиболее точными вычисления будут в том случае, если они проведены относительно исходного пункта $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$, находящегося на линии центрального затмения. Тогда точность вычислений сохраняет силу на расстояния до 1000 *км* в обе стороны от линии центрального затмения.

Для любого пункта U, находящегося в полосе полного (кольцеобразного) затмения, можно дифференциальным методом определить продолжительность τ полного (кольцеобразного) затмения и позиционные углы второго (P_2) и третьего (P_3) контактов, если известно расстояние m этого пункта от линии центрального затмения. К северу от этой линии m считается положительным ($m > 0$), а к югу — отрицательным ($m < 0$). Пусть ширина полосы полного солнечного затмения (полосы главной фазы) есть D, а некоторый пункт K лежит на линии центрального затмения в той ее точке, от которой измеряется расстояние m пункта U от линии центрального затмения (направление $m = KU$ перпендикулярно к линии центрального затмения). Пусть, далее, в пункте K продолжительность полной фазы равняется τ_0, а угол между осью y и линией центрального затме-

ния есть N (угол N получается в процессе вычисления обстоятельств затмения в пункте K). Тогда из условия $\sin\vartheta = \frac{2m}{D}$ определяется угол ϑ и затем

$$\tau = \tau_0 \cos\vartheta, \quad P_2 = N - \vartheta \quad \text{и} \quad P_3 = N + \vartheta \pm 180^\circ. \qquad (1.275)$$

Угол ϑ лежит в пределах $0^\circ < \vartheta < 180^\circ$, причем знак $\sin\vartheta$ определяется знаком m. Потеря продолжительности $\Delta\tau$ полной фазы в пункте U, обусловленная его удаленностью от линии центрального затмения,

$$\Delta\tau = \frac{2m^2}{D^2}\tau_0. \qquad (1.276)$$

§ 22. Предвычисление покрытий звезд Луной

Явление покрытия звезд Луной аналогично солнечным затмениям и поэтому может быть вычислено по тем же формулам, что и солнечные затмения, с той лишь разницей, что видимый радиус, суточный параллакс и собственное движение (за сутки) покрываемого светила — звезды равны нулю. Эти обстоятельства вносят большие упрощения в способы вычислений покрытий звезд Луной. Покрытие звезды Луной происходит вблизи геоцентрического соединения этих светил по прямому восхождению. Момент начала покрытия предшествует моменту T_0 геоцентрического соединения, а момент конца покрытия наступает после T_0.

Введем следующие обозначения:

Для Луны:

$\alpha_{☾}$ — геоцентрическое прямое восхождение,
$\Delta\alpha_{☾}$ — часовое изменение прямого восхождения,
$\Delta\alpha'_{☾}$ — часовое перемещение Луны по небесной параллели,
$\delta_{☾}$ — геоцентрическое склонение,
$\Delta\delta_{☾}$ — часовое изменение склонения,
$\Delta\delta$ — разность склонений Луны и звезды,
$p_{☾}$ — горизонтальный экваториальный параллакс Луны,
$r_{☾}$ — видимый геоцентрический радиус лунного диска,
x, y — координаты в бесселевой системе,
x', y' — часовые изменения кординат x и y,
$P_{н}$ — позиционный угол начала покрытия,
$P_{к}$ — позиционный угол конца покрытия,
$P_{zн}$ — угол положения от зенита при начале покрытия,
$P_{zк}$ — угол положения от зенита при конце покрытия.

Для звезды:

α — прямое восхождение,
δ — склонение,
μ — часовой угол в месте наблюдения.

Пункт наблюдения:

λ — географическая долгота,

φ — географическая широта,

φ' — геоцентрическая широта,

ρ — геоцентрический радиус-вектор (радиус Земли в пункте наблюдения),

n — часовой пояс,

ξ, η — бесселевы координаты,

ξ', η' — часовые изменения бесселевых координат.

Моменты времени:

T_0 — момент геоцентрического соединения Луны со звездой по прямому восхождению,

T_u — исходный момент для вычислений, выбираемый вблизи середины покрытия,

$T_н$ — момент начала покрытия,

$T_к$ — момент конца покрытия,

T — произвольный момент времени,

S — звездное время на гринвичском меридиане в произвольный момент,

S_0 — звездное время на гринвичском меридиане в момент T_0.

Все вычисления проводятся в системе всемирного (гринвичского) времени, а затем, в случае необходимости, переводятся в систему среднего, поясного или декретного времени.

Элементами покрытия называются следующие пять величин: T_0, μ, $\Delta\alpha'_☾$, $\Delta\delta_☾$ и $\Delta\delta$ на момент T_0.

В дальнейшем предполагается, что все экваториальные координаты отнесены к одной и той же эпохе.

Прежде всего необходимо провести отбор звезд, которые могут быть покрыты Луной. Аналитически это определяется для момента геоцентрического соединения T_0 (когда $\alpha_☾ = \alpha$) из неравенства

$$|\Delta\delta| = |\delta_☾ - \delta| \leqslant 1{,}2726 p_☾ \sec i' \cos\delta_☾, \qquad (1.277)$$

где i' — наклонение лунной орбиты к небесному экватору, меняющееся в зависимости от положения лунных узлов на эклиптике. Поэтому, взяв из Астрономического Ежегодника СССР значения экваториальных координат Луны $\alpha_☾$ и $\delta_☾$ в течение месяца, можно для каждого значения $\alpha_☾$ и $\delta_☾$ вычислить величину $1{,}2726\, p_☾ \sec i' \cos\delta_☾$ и из условия формул (1.277) получить предельные значения δ звезд, которые могут быть покрыты Луной в данном месяце. Очевидно, границы, в пределах которых при данном $\delta_☾$ возможно покрытие, определяются как

$$\delta = \delta_☾ \pm \Delta\delta. \qquad (1.278)$$

Затем по звездным каталогам (например, по каталогу зодиакальных звезд *)) отыскиваются звезды, экваториальные координаты которых, исправленные за прецессию, лежат в пределах полученных значений δ при данном α. Лучше воспользоваться списком звезд, публикуемым в Астрономическом Ежегоднике СССР, так как их координаты даются на текущую эпоху.

Отбор покрываемых звезд может быть произведен графическим способом, сущность которого состоит в том, что на звездную карту наносят видимый геоцентрический путь Луны (по ее координатам $\alpha_☾$ и $\delta_☾$) и по обе стороны от него проводят кривые, отстоящие от геоцентрического пути Луны на расстоянии $\Delta = 1{,}27 \cdot p_☾$. Звезды, находящиеся в пределах полученного пояса, обязательно покрываются Луной, но, разумеется, их покрытие видно не из всех мест Земли. Чтобы отобрать звезды, покрытие которых может наблюдаться из данного пункта, с географическими координатами λ и φ, нужно на звездной карте нанести топоцентрический (т. е. видимый из данного места) путь Луны на фоне звезд. Этот путь получается смещением геоцентрического пути Луны к югу (в пределах СССР) на величину параллакса Луны по склонению (p_δ) и к востоку или к западу на величину параллакса по прямому восхождению (p_α). Способ построения топоцентрического лунного пути объяснен ниже (стр. 143) при изложении полуграфического метода предвычисления покрытий звезд Луной.

Предвычисление покрытий звезд Луной состоит в определении моментов $T_н$ и $T_к$ и углов положений $P_н$ и $P_к$ начала и конца покрытия звезды, называемых также *исчезновением* и *появлением* звезды.

Существуют аналитические, графические и смешанные (полуграфические) способы предвычисления покрытий звезд Луной. К аналитическим относится также дифференциальный метод, позволяющий вычислить условия покрытия звезды в данном пункте земной поверхности по известным условиям покрытия той же звезды в других пунктах наблюдений.

Во всех этих способах нужно прежде всего найти момент геоцентрического соединения Луны со звездой по прямому восхождению. Зная α звезды, нужно по Астрономическому Ежегоднику найти моменты времени T_1 и T_2, в которые $\alpha_☾$ близко к α, но в момент T_1 $\alpha_☾ < \alpha$, а в момент T_2 $\alpha_☾ > \alpha$. Очевидно, в этом случае $T_1 < T_0 < T_2$, так как при T_0 должно быть $\alpha_☾ = \alpha$.

Определение T_0 значительно облегчается тем, что теперь в Астрономическом Ежегоднике СССР приводятся значения $\alpha_☾$, $\Delta\alpha_☾$, $\delta_☾$ и $\Delta\delta_☾$ на каждый час.

---

*) Catalog of 3539 Zodiacal Stars for the Equinox 1950.0 by James Robertson.

Пусть в момент T_1 координаты Луны будут $\alpha_{☾1}$, $\delta_{☾1}$, а в момент T_2 координаты будут $\alpha_{☾2}$, $\delta_{☾2}$.

Тогда, зная, что в момент T_0 $\alpha_☾ = \alpha$, имеем

$$\left.\begin{aligned} T_1 = T_0 - \Delta t_1, \quad \alpha_{☾1} = \alpha - \Delta\alpha_☾ \, \Delta t_1, \quad \delta_{☾1} = \delta_☾ - \Delta\delta_☾ \, \Delta t_1, \\ T_2 = T_0 + \Delta t_2, \quad \alpha_{☾2} = \alpha + \Delta\alpha_☾ \, \Delta t_2, \quad \delta_{☾2} = \delta_☾ + \Delta\delta_☾ \, \Delta t_2, \end{aligned}\right\} \qquad (1.279)$$

где $\delta_☾$ — склонение Луны для момента T_0.

Отсюда находим в долях часа либо

$$\Delta t_1 = \frac{\alpha - \alpha_{☾1}}{\Delta\alpha_☾}, \quad \text{либо} \quad \Delta t_2 = \frac{\alpha_{☾2} - \alpha}{\Delta\alpha_☾}, \qquad (1.280)$$

смотря по тому, какое значение прямого восхождения Луны лежит ближе к α. Значения Δt_1 и Δt_2 в минутах получатся по формулам

$$\Delta t_1 = 60 \cdot \frac{\alpha - \alpha_{☾1}}{\Delta\alpha_☾} \quad \text{и} \quad \Delta t_2 = 60 \cdot \frac{\alpha_{☾2} - \alpha}{\Delta\alpha_☾}. \qquad (1.281)$$

Из формул (1.279) вычисляем T_0 и $\delta_☾$.

Дальнейший ход вычислений зависит от принятого способа.

Аналитический способ Бесселя. Вследствие того, что суточный параллакс звезд равен нулю, прямоугольные бесселевы координаты Луны будут:

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{\cos\delta_☾ \sin(\alpha_☾ - \alpha)}{\sin p_☾}, \\ y &= \frac{\sin\delta_☾ \cos\delta - \cos\delta_☾ \sin\delta \cos(\alpha_☾ - \alpha)}{\sin p_☾} \end{aligned}\right\} \qquad (1.282)$$

или, принимая во внимание близкие друг к другу значения α и $\alpha_☾$ вблизи геоцентрического соединения Луны со звездой, получим

$$x = \frac{\alpha_☾ - \alpha}{p_☾} \cdot \cos\delta_☾, \quad y = \frac{\sin(\delta_☾ - \delta)}{\sin p_☾},$$

или, приближенно,

$$y = \frac{\delta_☾ - \delta}{p_☾}, \qquad (1.283)$$

где $\alpha_☾ - \alpha$, $\delta_☾ - \delta$ и $p_☾$ выражаются в одних единицах — минутах или секундах дуги.

Часовые изменения x' и y' прямоугольных координат x и y Луны определяются формулами

$$x' = \frac{\Delta\alpha_☾}{p_☾} \cos\delta_☾, \quad y' = \frac{\Delta\delta_☾}{p_☾}. \qquad (1.284)$$

Тогда, приняв за исходный момент времени момент T_u, близкий к T_0, получим для любого момента времени T

$$x = x_u + x't, \quad y = y_u + y't, \qquad (1.285)$$

где x_u и y_u относятся к исходному моменту T_u и определяются формулами (1.283) на момент T_u, а $t = T - T_u$.

Знак y_u зависит от положения Луны относительно покрываемой звезды. При $\Delta\delta > 0$ (или $\delta_☾ > \delta$) центр лунного диска расположен севернее звезды и $y_u > 0$; при $\Delta\delta < 0$ (или $\delta_☾ < \delta$) центр лунного диска расположен южнее звезды и $y_u < 0$. Величина x' всегда положительна и близка к $+0,55$; y' имеет знак $\Delta\delta_☾$ и по абсолютной величине не превосходит 0,3. Попутно отметим, что $\Delta\delta < 0$ возможно только при $\varphi < +43°$ и поэтому, в пределах СССР, как правило, $\Delta\delta > 0$, и лишь в очень редких случаях, и то в самых южных районах СССР, бывает $\Delta\delta < 0$.

Если за исходный момент взять T_0, т. е. положить $T_u = T_0$, то формулы (1.283) и (1.285) упрощаются, так как в этом случае $\alpha_☾ = \alpha$ и $x_u = 0$.

Однако брать T_0 за исходный момент не рекомендуется, поскольку, как правило, он расположен асимметрично по отношению к моментам начала $T_н$ и конца $T_к$ покрытия, что вносит дополнительные неточности в вычисления и заставляет в обязательном порядке их повторять (находить второе приближение $T_н$ и $T_к$). Повторение вычислений зачастую является излишним при правильном выборе исходного момента T_u, близкого к середине покрытия. Этот выбор весьма легко может быть осуществлен по приведенной здесь полностью таблице акад. А. А. Михайлова из его книги «Теория затмений». Табл. VI составлена для географических широт от $\varphi = +36°$ до $\varphi = +70°$ по аргументу часового угла μ звезды в данном пункте наблюдения в момент T_0 геоцентрического соединения Луны со звездой. Поэтому, чтобы пользоваться таблицей, нужно вычислить

$$\mu = S_0 + \lambda - \alpha. \qquad (1.286)$$

По φ и μ в таблице находят поправку $\Delta\tau$, и тогда исходный момент будет

$$T_u = T_0 + \Delta\tau. \qquad (1.287)$$

Знак поправки $\Delta\tau$ берется по знаку при μ, указывающему положение звезды относительно небесного меридиана: при $\mu > 0$ (звезда находится к западу от меридиана) $\Delta\tau > 0$; при $\mu < 0$ (звезда — к востоку от меридиана) $\Delta\tau < 0$.

Для произвольных моментов времени часовой угол звезды

$$\mu = S + \lambda - \alpha. \qquad (1.288)$$

Знание часового угла μ необходимо при вычислении прямоугольных бесселевых координат наблюдателя ξ и η, для определения которых находят φ' и ρ: $\operatorname{tg}\varphi' = 0,99330 \cdot \operatorname{tg}\varphi$, $\rho = 1 - 0,00339 \cdot \sin^2\varphi'$.

Тогда координаты наблюдателя

$$\xi = \rho\cos\varphi'\sin\mu, \quad \eta = \rho\sin\varphi'\cos\delta - \rho\cos\varphi'\sin\delta\cos\mu \qquad (1.289)$$

Таблица VI

Значения $\Delta\tau$ для различных φ и μ

μ \ φ	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°	52°	54°	56°	58°	60°	65°	70°
$\pm 0^h\ 0^m$	$\pm 0^m$	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m
20	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	5	5	4	3
40	15	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	8	6
±1 0	22	22	21	20	20	19	18	18	17	16	15	15	14	12	9
20	29	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	15	12
40	36	35	34	33	32	31	30	29	28	26	25	24	23	19	15
±2 0	43	42	41	39	38	37	36	34	33	31	30	28	27	22	18
20	49	48	47	45	44	42	41	39	37	36	34	32	30	26	21
40	55	54	52	51	49	47	46	44	42	40	38	36	34	29	23
±3 0	61	59	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	32	26
20	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	45	43	41	34	28
40	70	68	67	65	62	60	58	56	54	51	49	46	43	37	30
±4 0	74	72	71	68	66	64	61	59	57	54	51	49	46	39	31
20	78	76	74	72	69	67	64	62	59	57	54	51	48	41	33
40	81	79	77	74	72	69	67	64	61	59	56	53	50	42	34
±5 0	83	81	79	76	74	71	69	66	63	60	57	54	51	43	35
20	85	82	80	78	75	73	70	67	64	61	58	55	52	44	36
40	86	83	81	79	76	73	71	68	65	62	59	56	53	45	36
±6 0	86	84	81	79	76	74	71	68	65	62	59	56	53	45	36
20	86	83	81	79	76	73	71	68	65	62	59	56	53	45	36
40	85	82	80	78	75	73	70	67	64	61	58	55	52	44	36
±7 0	83	81	79	76	74	71	69	66	63	60	57	54	51	43	35
20	81	79	77	74	72	69	67	64	61	59	56	53	50	42	34
40	78	76	74	72	69	67	64	62	59	57	54	51	48	41	33
±8 0	74	72	71	68	66	64	61	59	57	54	51	49	46	39	31
20	70	68	67	65	62	60	58	56	54	51	49	46	43	37	30
40	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	45	43	41	34	28
±9 0	±61	59	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	32	26

и их часовые изменения

$$\xi' = 0{,}262516\rho \cos\varphi' \cos\mu, \quad \eta' = 0{,}262516\rho \cos\varphi' \cos\delta \sin\mu. \quad (1.290)$$

Для любого момента времени

$$T = T_u + t \quad (1.291)$$

основное уравнение цилиндра лунной тени (заменяющего конус лунной тени, поскольку звезда является бесконечно удаленным точечным источником света) будет иметь вид

$$[(x_u + x't) - (\xi_u + \xi' t)]^2 + [(y_u + y't) - (\eta_u + \eta' t)]^2 = k^2, \quad (1.292)$$

где x_u, y_u, ξ_u и η_u относятся к моменту T_u, а $k = 0{,}2726$ есть линейный радиус Луны (выраженный в экваториальных радиусах

Земли ρ_0), увеличенный на 0,00026 (на 0″,9) за счет высоты лунных гор.

Положив при $m > 0$ и $n > 0$

$$\left.\begin{aligned} x_{\text{ц}} - \xi_{\text{ц}} = m \sin M, \quad y_{\text{ц}} - \eta_{\text{ц}} = m \cos M, \\ x' - \xi' = n \sin N, \quad y' - \eta' = n \cos N, \end{aligned}\right\} \tag{1.293}$$

найдем

$$\left.\begin{aligned} m = +\sqrt{(x_{\text{ц}} - \xi_{\text{ц}})^2 + (y_{\text{ц}} - \eta_{\text{ц}})^2}, \quad n = +\sqrt{(x' - \xi')^2 + (y' - \eta')^2}, \\ \operatorname{tg} M = \frac{x_{\text{ц}} - \xi_{\text{ц}}}{y_{\text{ц}} - \eta_{\text{ц}}} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} N = \frac{x' - \xi'}{y' - \eta'}. \end{aligned}\right\} \tag{1.294}$$

Углы M и N определяются однозначно по знакам числителя и знаменателя.

Зная M и N, находим

$$\sin(L - N) = \frac{m}{k} \sin(M - N) \tag{1.295}$$

и отыскиваем два значения $(L—N)$ и два значения $\cos(L - N)$.

Тогда промежуток времени t, выраженный в минутах времени, будет равен

$$t = 60\left[\frac{k}{n}\cos(L - N) - \frac{m}{n}\cos(M - N)\right], \tag{1.296}$$

причем для начала покрытия $t_{\text{н}} = t$ при $\cos(L - N) < 0$ и для конца покрытия $t_{\text{к}} = t$ при $\cos(L - N) > 0$.

Моменты начала $T_{\text{н}}$ и конца $T_{\text{к}}$ покрытия определяются соответственно из формул

$$\left.\begin{aligned} T_{\text{н}} = T_{\text{ц}} + t_{\text{н}}, \\ T_{\text{к}} = T_{\text{ц}} + t_{\text{к}}. \end{aligned}\right\} \tag{1.291}$$

По известным $(L - N)$ вычисляем

$$L = (L - N) + N \tag{1.297}$$

и находим позиционные углы $P_{\text{н}}$ и $P_{\text{к}}$ начала и конца покрытия звезды Луной. Оба угла отсчитываются по диску Луны от ее северной точки, в направлении против часовой стрелки, до звезды и вычисляются по формуле

$$P = L \pm 180°. \tag{1.298}$$

Для начала покрытия $P_{\text{н}} < 180°$; для конца покрытия $P_{\text{к}} > 180°$.

Углы положения от зенита $P_{z\text{н}}$ и $P_{z\text{к}}$ в те же моменты начала и конца покрытия вычисляются по формуле

$$P_z = P - \gamma, \tag{1.299}$$

где γ — параллактический угол, определяемый раздельно на моменты $T_н$ и $T_к$ из равенства

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{\xi}{\eta}. \tag{1.300}$$

Углы $P_{zн}$ и $P_{zк}$ отсчитываются от верхней точки лунного диска (направленной к зениту) аналогично позиционному углу, причем $P_{zн} < 180°$ и $P_{zк} > 180°$.

Если моменты начала $T_н$ и конца $T_к$ покрытия звезды требуется определить с точностью до 1 минуты, то, как правило, достаточно одного решения задачи при условии, что за исходный момент T_u принимается момент, близкий к середине покрытия в данном месте Земли. При необходимости получения моментов $T_н$ и $T_к$ с большей точностью вычисления повторяют заново, раздельно для начала и конца покрытия, принимая за исходные вычисленные моменты $T_н$ и $T_к$. Тогда получают окончательные значения t и L, по которым находят моменты и позиционные углы начала и конца покрытия, а если это требуется, то и углы положения от зенита. Затем все вычисленные моменты переводятся в систему времени, принятую в месте наблюдения.

Дифференциальный метод. Этот метод позволяет быстро определить с точностью до 1 минуты моменты $T_н$ и $T_к$ в любом пункте наблюдения (λ, φ) по известным моментам $T_{н1}$ и $T_{к1}$ другого пункта (λ_1, φ_1), называемого в этом случае основным. Приемлемые результаты получаются при удалении данного пункта от основного в пределах 350 *км*.

Момент начала покрытия в данном пункте

$$T_н = T_{н1} - a(\lambda - \lambda_1) + b(\varphi - \varphi_1) + \omega; \tag{1.301}$$

момент конца покрытия в данном пункте

$$T_к = T_{к1} - a(\lambda - \lambda_1) + b(\varphi - \varphi_1) - \omega, \tag{1.302}$$

причем λ, φ, λ_1 и φ_1 выражены в градусах, $a(\lambda - \lambda_1)$, $b(\varphi - \varphi_1)$ и $\omega = 0^m{,}075\cos^2\varphi_1(\varphi - \varphi_1)^2$ — в минутах времени.

Значения ω в минутах времени берутся из табл. VII.

Таблица VII

$\varphi - \varphi_1$ \ φ_1	30°	40°	50°	60°	70°
1°	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0
3	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
4	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1
5	1,4	1,1	0,8	0,5	0,2
6	2,0	1,6	1,1	0,7	0,3
7	3	2,2	1,5	0,9	0,4
8	4	3	2,0	1,2	0,6

Значения коэффициентов a и b всегда приводятся в таблице обстоятельств покрытия в основном пункте (λ_1, φ_1).

Более уверенные результаты получаются при использовании обстоятельств покрытия в двух основных пунктах с λ_1, φ_1 и λ_2, φ_2. Тогда в формулах (1.301) и (1.302) коэффициенты a и b имеют значения

$$\left.\begin{aligned} a = a_1 + k(a_2 - a_1), \quad b = b_1 + k(b_2 - b_1), \\ k = \frac{\varphi - \varphi_1}{2(\varphi_2 - \varphi_1)} \end{aligned}\right\} \qquad (1.303)$$

(a_1, b_1, λ_1 и φ_1 относятся к ближайшему основному пункту и a_2, b_2, λ_2 и φ_2 — к удаленному основному пункту).

Если $\varphi_2 - \varphi_1 < 1°$, то этим способом пользоваться нельзя. В остальных случаях он дает точность до 1^m в пределах расстояний до 550 *км* данного пункта от основных.

Формулы дифференциального перехода всегда даются в таблицах покрытий звезд Луной, например в приложении к Астрономическому Ежегоднику СССР. Следует иметь в виду, что в этом приложении принят геодезический счет географических долгот, т. е. восточная долгота считается отрицательной, а западная долгота — положительной. Это обстоятельство следует иметь в виду при вычислениях. В приложении к Астрономическому Ежегоднику СССР оно учтено положительным знаком (+) члена $a(\lambda - \lambda_1)$, в отличие от вышеприведенной формулы (1.301).

Смешанный (полуграфический) способ. Наиболее распространенными графическими способами предвычисления покрытий звезд Луной являются способы, предложенные проф. М. А. Ковальским и Э. Шенбергом. Способ М. А. Ковальского является чисто графическим и предусматривает графическое построение всех элементов покрытия, а также промежуточных величин, требующихся в процессе предвычисления покрытий. Эти построения весьма сложны, кропотливы и требуют выражения разности склонений Луны и звезды и часовых перемещений Луны по склонению и прямому восхождению в долях земного экваториального радиуса. Способ Э. Шенберга принадлежит к полуграфическим, или смешанным, и состоит в графическом построении видимого пути звезды относительно Луны, которая принимается за неподвижную. Некоторые промежуточные величины находятся аналитически. Графическое построение видимого относительного пути звезды заставляет приписывать звезде перемещения, численно равные перемещению Луны, но с обратными знаками. Это обстоятельство часто приводит к ошибкам в построении. Поэтому наиболее легким, быстрым и безошибочным способом графического предвычисления звезд Луной следует считать видоизмененный способ проф. Ковальского, в котором вычерчивается видимый топоцентрический путь Луны относительно неподвижной звезды и графически определяются

моменты и позиционные углы начала и конца покрытия. Все элементы покрытия и вспомогательные величины вычисляются аналитически, поскольку их вычисление не представляет трудностей. Положительным в этом полуграфическом способе является замена экваториального радиуса Земли горизонтальным экваториальным параллаксом Луны и все построения делаются в привычной системе экваториальных координат.

По данным Астрономического Ежегодника вычислим, как и прежде (см. стр. 138), момент T_0 геоцентрического соединения Луны со звездой по прямому восхождению [формулы (1.279)—(1.281)] и линейной интерполяцией найдем на этот момент видимый геоцентрический радиус Луны $r_☾$, ее горизонтальный экваториальный параллакс $p_☾$, прямое восхождение $\alpha_☾$, склонение $\delta_☾$, часовые изменения ее прямого восхождения $\Delta\alpha_☾$ и склонения $\Delta\delta_☾$. Экваториальные координаты α и δ звезды относятся к той же эпохе, что и координаты Луны. Часовой угол μ звезды в данном пункте земной поверхности вычисляется для различных моментов времени T по формуле (1.288).

Пусть географические координаты пункта наблюдений суть λ (долгота), φ (широта) и ρ (геоцентрический радиус-вектор).

По известной φ вычисляем геоцентрическую широту φ' пункта наблюдений $\operatorname{tg}\varphi' = 0{,}99330\cdot\operatorname{tg}\varphi$ и, зная φ', находим $\sin\varphi'$, $\cos\varphi'$ и $\rho = 1 - 0{,}00339\cdot\sin^2\varphi'$.

В пределах СССР можно в среднем считать $\rho = 0{,}998$.

Принимаем момент T_0 геоцентрического соединения Луны со звездой по прямому восхождению за исходный момент и для него имеем: $\alpha_☾ = \alpha$; $\Delta\delta = \delta_☾ - \delta$ и часовое перемещение Луны по небесной параллели

$$\Delta\alpha'_☾ = \Delta\alpha_☾ \cos\delta_☾. \tag{1.304}$$

Напомним, что при $\Delta\delta > 0$ центр лунного диска расположен севернее звезды: при $\Delta\delta < 0$ центр лунного диска расположен южнее звезды (возможно только для географических широт $\varphi < +43°$); в пределах СССР практически всегда $\Delta\delta > 0$ и в редких случаях, лишь в самых южных районах СССР, бывает $\Delta\delta < 0$.

Выберем масштаб для графического решения задачи. Весьма удобным является масштаб $1' = 2$ *мм* ($1° = 120$ *мм*).

Нанесем на листе бумаги (рис. 48) прямую NS, представляющую круг склонения, проходящий через центр лунного диска и звезду в момент $T_0(\alpha_☾ = \alpha)$.

Пусть точка D на круге склонения NS изображает звезду (α, δ). На расстоянии $BD = \Delta\delta$ от нее на том же круге склонения NS отметим точку B, изображающую геоцентрическое положение центра лунного диска в момент T_0. При $\Delta\delta > 0$ центр лунного диска B отмечается выше звезды D, т. е. в направлении к северному полюсу мира, при $\Delta\delta < 0$ — ниже звезды D. Проведя из точки B, как из центра, окружность радиуса $r_☾$ (в при-

нятом масштабе), получим геоцентрическое положение лунного диска в момент T_0, т. е. положение Луны, усматриваемое в этот момент из центра Земли.

Через центр B лунного диска проведем перпендикулярно к NS прямую EW, изображающую небесную параллель со склонением $\delta_{☾}$.

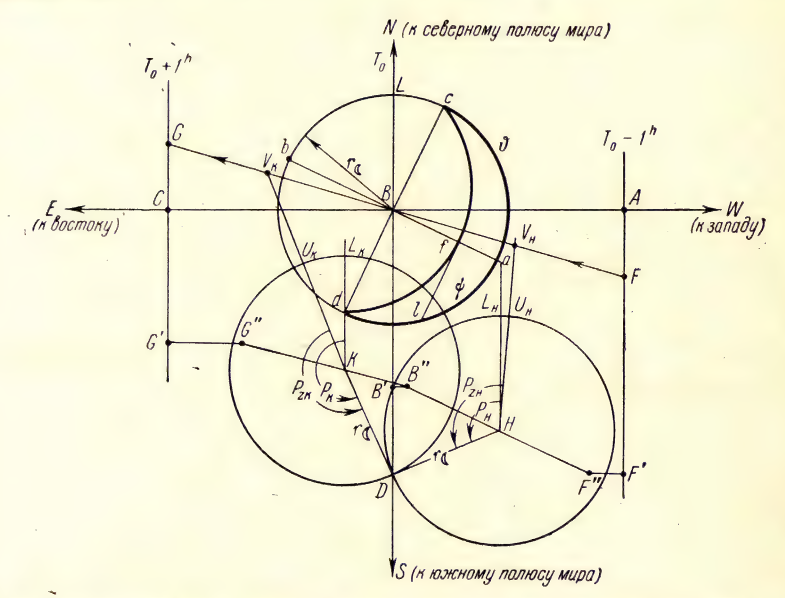


Рис. 48. Графический метод решения задачи определения обстоятельств покрытия звезды Луной.

За 1 час до момента T_0, т. е. в момент $T_1 = T_0 - 1^h$, экваториальные координаты Луны были

$$\alpha_{☾1} = \alpha_{☾} - \Delta\alpha_{☾}, \quad \delta_{☾1} = \delta_{☾} - \Delta\delta_{☾}, \tag{1.305}$$

а через час после T_0, в момент $T_2 = T_0 + 1^h$, они будут

$$\alpha_{☾2} = \alpha_{☾} + \Delta\alpha_{☾}, \quad \delta_{☾2} = \delta_{☾} + \Delta\delta_{☾}. \tag{1.306}$$

Вычислив по формуле (1.304) часовое перемещение $\Delta\alpha'_{☾}$ Луны по небесной параллели EW, отложим по ней значение $\Delta\alpha'_{☾} = AB = BC$ в обе стороны от точки B. Через полученные точки A и C проведем перпендикуляры к параллели EW и на них, от точек A и C отложим часовое изменение склонения Луны $\Delta\delta_{☾} = AF = CG$. Если $\delta_{☾1} < \delta_{☾}$ (т. е. $\Delta\delta_{☾} > 0$), то $\Delta\delta_{☾} = AF$ откладывается вниз ($-\Delta\delta_{☾}$), в сторону юга, а $\Delta\delta_{☾} = CG$ — вверх, в сторону увеличения склонения, так как в этом случае $\Delta\delta_{☾2} > \delta_{☾}$. При $\Delta\delta_{☾} < 0$ отрезки $\Delta\delta_{☾}$ откладываются в противоположных направлениях: AF — вверх, к северу, и CG — вниз,

к югу. Полученные точки F и G изобразят геоцентрическое положение центра лунного диска соответственно в моменты T_1 и T_2, а прямая FG будет представлять видимый геоцентрический путь центра лунного диска за два часа, т. е. за интервал времени $T_2 - T_1$. Отрезки FB и BG являются отрезками этого пути за 1^h.

Хотя из центра Земли может и не усматриваться покрытия звезды Луной, однако вследствие параллактического смещения Луны оно может наблюдаться из некоторых точек земной поверхности, лежащих в определенных границах географической широты φ и долготы λ. Для наблюдателя, находящегося на северной географической широте $\varphi > \delta_{☾}$, параллактическое смещение Луны к югу по склонению

$$p_\delta = \rho p_{☾} (\sin\varphi' \cos\delta - \cos\varphi' \sin\delta \cos\mu). \qquad (1.307)$$

Параллактическое смещение Луны по прямому восхождению

$$p_\alpha = \rho p_{☾} \cos\varphi' \sin\mu \qquad (1.308)$$

и при $0° < \mu < 180°$ откладывается на чертеже вправо, к западу ($p_\alpha > 0$), а при $180° < \mu < 360°$ — влево, к востоку ($p_\alpha < 0$).

Вычислив сначала μ, а затем p_δ и p_α для моментов $T_1 = T_0 - 1^h$, T_0 и $T_2 = T_0 + 1^h$, отложим на чертеже их значения. Параллактическое смещение по склонению p_δ откладывается по кругам склонения, и поскольку в пределах СССР всегда $p_\delta > 0$, оно всегда откладывается к югу. Для момента T_1 p_δ откладывается от точки F (геоцентрическое положение центра лунного диска в момент T_1) в виде отрезка $FF' = p_\delta$. Параллактическое смещение по прямому восхождению $p_\alpha = F'F''$ (для того же момента) нужно отложить от точки F' по небесной параллели, согласно знаку p_α (на рис. 48 принято $p_\alpha = F'F'' < 0$ и отложено влево, к востоку).

Аналогично для момента T_0 отложим $p_\delta = BB'$ и $p_\alpha = B'B''$, а для момента $T_2 = T_0 + 1^h$ $p_\delta = GG'$ и $p_\alpha = G'G''$. Полученные точки F'', B'', G'' дадут топоцентрические положения центра лунного диска в моменты T_1, T_0 и T_2 по наблюдениям из данного пункта земной поверхности с географическими координатами λ, φ, а слегда изломанная линия $F''B''G''$ — видимый (топоцентрический) путь Луны за 2 часа (от T_1 до T_2) для того же пункта.

Если звезда (α, δ) в момент T_0 находится к востоку от небесного меридиана места наблюдения, то находят еще одно топоцентрическое положение центра лунного диска (аналогичное F'') для момента $T_3 = T_0 - 2^h$. Если же звезда в момент T_0 находится к западу от небесного меридиана, то подобное же построение осуществляют для $T_4 = T_0 + 2^h$.

Далее, из точки D (звезда) радиусом $r_{☾}$ делают на топоцентрическом пути Луны $F''B''G''$ две засечки, точки пересечения которых с этим путем H и K дадут видимые положения центра

лунного диска в моменты начала $T_н$ и конца $T_к$ покрытия звезды D Луной.

Если радиус $r_☾$ окажется малым и не пересечется с видимым путем $F''B''G''$, то покрытия звезды Луной не произойдет. Описав из точек H и K окружности радиусом $r_☾$, получим видимые положения лунного диска в моменты начала и конца покрытия звезды.

Моменты начала $T_н$ и конца $T_к$ покрытия находятся графическим путем. Так как пути $F''B''$ и $B''G''$ Луна проходит за 1 час, то отрезок $F''B'' = \Delta_1$, измеренный в миллиметрах, даст масштаб времени

$$m_1 = \frac{60}{\Delta_1}\left(\frac{\text{минут}}{\text{мм}}\right). \qquad (1.309)$$

Измерив в миллиметрах отрезок $HB'' = d_1$, получим интервал времени в минутах

$$t_1 = m_1 \cdot d_1, \qquad (1.310)$$

отделяющий момент $T_н$ от T_0, откуда

$$T_н = T_0 - t_1. \qquad (1.311)$$

Аналогично, отрезок $B''G'' = \Delta_2$ даст масштаб времени

$$m_2 = \frac{60}{\Delta_2}\left(\frac{\text{минут}}{\text{мм}}\right),$$

а $B''K = d_2$ определит интервал времени $t_2 = m_2 d_2$ в минутах, откуда

$$T_к = T_0 + t_2. \qquad (1.311a)$$

Соединим звезду D с точками H и K и через них проведем прямые, параллельные кругу склонения NS, до пересечения в точках $L_н$ и $L_к$ с краем диска Луны. Тогда угол $\angle L_н HD = P_н$ даст позиционный угол $P_н$ начала покрытия звезды. Аналогично угол $\angle L_к KD = P_к$ представляет собой позиционный угол $P_к$ конца покрытия звезды. Оба угла отсчитываются от северной точки ($L_н$ и $L_к$) лунного диска против часовой стрелки и измеряются на чертеже транспортиром.

Если нужно определить углы положения $P_{zн}$ и $P_{zк}$ от зенита (т. е. от верхней точки лунного диска), то отрезки FB и BG делятся точками $V_н$ и $V_к$ в таком же отношении, как и отрезки $F''B''$ точкой H и $B''G''$ точкой K, т. е. в отношении

$$\left.\begin{aligned} \frac{FV_н}{V_н B} &= \frac{F''H}{HB''} = \frac{\Delta_1 - d_1}{d_1}, \\ \frac{BV_к}{V_к G} &= \frac{B''K}{KC''} = \frac{d_2}{\Delta_2 - d_2}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.312)$$

Полученные точки $V_н$ и $V_к$ раздельно соединяем с точками H и K и на пересечении прямых $V_н H$ и $V_к K$ с краем лунного диска отмечаем точки $U_н$ и $U_к$. От полученных точек, против часовой стрелки, отсчитываем с помощью транспортира углы

положения от зенита:

$$\left.\begin{array}{l}\text{для начала покрытия } P_{z\text{н}} = \angle U_{\text{н}} HD, \\ \text{для конца покрытия } P_{z\text{к}} = \angle U_{\text{к}} KD.\end{array}\right\} \quad (1.313)$$

Для начала покрытия всегда $P_{\text{н}} < 180°$, $P_{z\text{н}} < 180°$; для конца покрытия $P_{\text{к}} > 180°$; $P_{z\text{к}} > 180°$.

Видимое положение и величина лунного серпа во время покрытия. Часто бывает нужно знать видимое положение и величину лунного серпа во время покрытия звезды Луной. Для этого по данным Астрономического Ежегодника вычислим на заданный момент времени ($T_{\text{н}}$, T_0 или $T_{\text{к}}$) геоцентрические экваториальные координаты Солнца $\alpha_{\odot}$ и $\delta_{\odot}$ и найдем угол ϑ, определяемый равенством

$$\operatorname{ctg} \vartheta = \frac{\cos \delta_{☾} \operatorname{tg} \delta_{\odot} - \sin \delta_{☾} \cos (\alpha_{☾} - \alpha_{\odot})}{\sin (\alpha_{☾} - \alpha_{\odot})}. \quad (1.314)$$

Отложив вычисленный угол ϑ на изображении лунного диска (рис. 48) от северной его точки L по часовой стрелке, получим точку a ($\vartheta = \angle LBa$), через которую проведем диаметр лунного диска aBb. Через центр B проведем диаметр cd, перпендикулярный к aBb. Концевые точки c и d этого диаметра будут концами лунного серпа. От точки a, в направлении часовой стрелки, отложим дугу $\psi = al$, соответствующую возрасту Луны, т. е. лунной фазе. Поскольку синодический период обращения Луны вокруг Земли (синодический месяц) $T_s = 29{,}53$ суток и соответствует на чертеже дуге в 360°, то

$$\psi = \frac{360° \cdot \tau}{29{,}53} \quad \text{или} \quad \psi = 12°,2 \cdot \tau, \quad (1.315)$$

где τ — возраст Луны, выраженный в сутках, который легко может быть подсчитан по моменту предшествующего новолуния.

При $\psi < 180°$ из полученной точки l опускаем на диаметр ab перпендикуляр lf и точки c, f и d соединяем плавной кривой, представляющей лунный терминатор. Получившийся серп cad изобразит видимый лунный серп, т. е. освещенную Солнцем часть Луны. Если $\psi > 180°$, то через точку l проводят диаметр лунного диска lBl' и из точки l' опускают на ab перпендикуляр $l'f$, а затем уже соединяют точки c, f и d плавной кривой.

После вычислений все моменты обычно приводят к системе счета времени, принятой в месте наблюдений.

Попутно отметим, что рассмотренное выше графическое построение хода покрытия звезды Луной может быть выполнено из условия неподвижной Луны и движения относительно нее покрываемой звезды. В этом случае аналитически вычисленным величинам должен приписываться обратный знак.

§ 23. Полуграфический метод предвычисления солнечных затмений

Этот метод аналогичен полуграфическому методу предвычисления покрытий звезд Луной (см. стр. 143—148), и здесь также необходимы географические координаты λ и φ места, для которого производятся вычисления.

Из Астрономического Ежегодника выписывают на момент T_0 геоцентрического соединения Луны с Солнцем по прямому восхождению следующие данные: для Солнца — прямое восхождение $\alpha_{\odot}$ и склонение $\delta_{\odot}$, их часовые изменения $\Delta\alpha_{\odot}$ и $\Delta\delta_{\odot}$, угловой радиус $r_{\odot}$; для Луны — прямое восхождение $\alpha_{☾}$ и склонение $\delta_{☾}$, их часовые изменения $\Delta\alpha_{☾}$ и $\Delta\delta_{☾}$, угловой радиус $r_{☾}$ и горизонтальный экваториальный параллакс $p_{☾}$.

Далее находят разность $(\delta_{☾} - \delta_{\odot})$, а также относительное часовое перемещение Луны по небесной параллели

$$\Delta\alpha'_{☾} = (\Delta\alpha_{☾} - \Delta\alpha_{\odot}) \cos\delta_{☾} \qquad (1.316)$$

и по кругу склонения

$$\Delta\delta'_{☾} = \Delta\delta_{☾} - \Delta\delta_{\odot}. \qquad (1.317)$$

Умножая $\Delta\alpha'_{☾}$ и $\Delta\delta'_{☾}$ поочередно на 2 и на 3, получают координаты Луны $\overline{\Delta\alpha}_{☾}$ и $\overline{\Delta\delta}_{☾}$ относительно Солнца в моменты времени T, отстоящие на 1^h, 2^h и 3^h (всего 6 моментов) в обе стороны от момента T_0:

$$\overline{\Delta\alpha}_{☾} = \Delta\alpha'_{☾}(T - T_0),$$

$$\overline{\Delta\delta}_{☾} = (\delta_{☾} - \delta_{\odot}) + \Delta\delta'_{☾}(T - T_0).$$

Проведя на чертеже (рис. 49) круг склонения Солнца NS, отмечают на нем положения центра солнечного диска (D) и центра лунного диска (B) в момент времени T_0 и, полагая Солнце неподвижным, строят по значениям $\overline{\Delta\alpha}_{☾}$ и $\overline{\Delta\delta}_{☾}$ видимый геоцентрический путь Луны FBG, аналогично тому, как он строится при вычислении покрытия звезды Луной (см. стр. 145—146).

Затем для всех семи моментов времени T, включая и T_0, находят склонение Солнца

$$\delta = \delta_{\odot} + \Delta\delta_{\odot}(T - T_0) \qquad (1.318)$$

и его часовой угол

$$\mu = \mu_{\odot} + (T - T_0), \qquad (1.319)$$

причем

$$\mu_{\odot} = S_0 + \lambda - \alpha_{\odot},$$

где S_0 — звездное время в Гринвиче в момент T_0, а λ считается положительной к востоку от Гринвича. При таком упрощенном

способе вычисления μ наибольшая погрешность в его определении не превышает $0',3$, а в подавляющем большинстве случаев составляет около $0',1$, что нисколько не отражается на реальной точности графического построения.

Найденные по формулам (1.318) и (1.319) значения δ и μ используются в формулах (1.307) и (1.308) для вычисления параллактического смещения p_δ и p_α Луны для всех семи моментов времени, причем в этих формулах можно полагать $\varphi' = \varphi$ и $\rho = 0{,}998$.

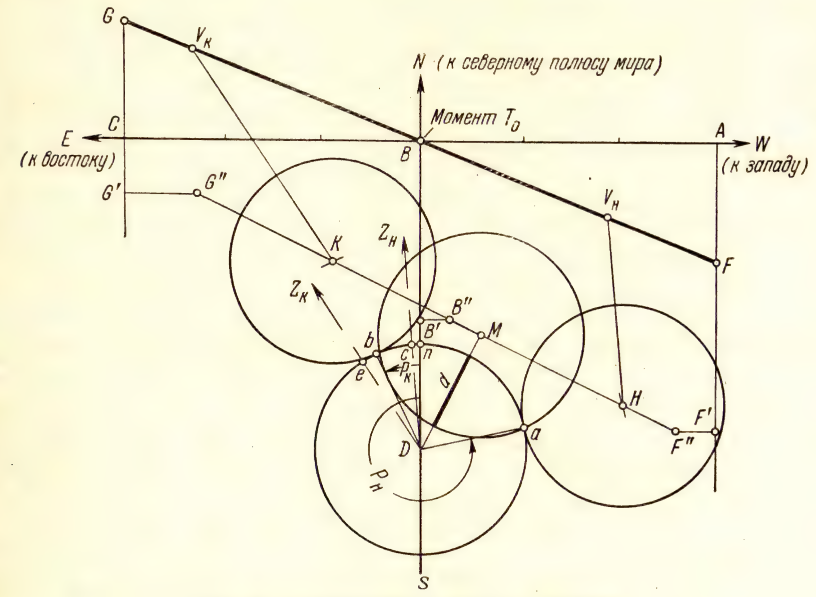


Рис. 49. К вычислению солнечного затмения.

Учитывая значения p_δ и p_α, строят видимый топоцентрический путь Луны $F'' B'' G''$, на котором отмечаются две точки, H и K, получаемые засечками в виде дуг радиусом $r_\odot + r_☾$ и с центром в центре солнечного диска (D). Точки H и K обозначают центр лунного диска в моменты его внешнего касания с солнечным диском, т. е. в моменты начала (первый контакт) и конца (четвертый контакт) частных фаз затмения. Сами точки касания a и b легко находятся построением двух лунных дисков радиусом $r_☾$, с центрами в точках H и K, а позиционные углы $P_н$ и $P_к$ точек касания измеряются транспортиром при центре солнечного диска (D), от его северной точки n, в направлении против вращения часовой стрелки.

Если теперь на топоцентрическом лунном пути $F'' B'' G''$ аналогичным образом наметить две точки засечками в виде дуг радиусами $r_☾ - r_\odot$, то полученные точки дадут положение центра лунного диска в моменты его внутреннего касания с сол-

нечным диском, т. е. в моменты начала (второй контакт) и конца (третий контакт) полного или кольцеобразного затмения (эти точки на рис. 49 не показаны, так как он иллюстрирует ход частного солнечного затмения).

Соединив точки H и K раздельно с точками $V_н$ и $V_к$ на геоцентрическом лунном пути (их построение см. на стр. 147—148) прямыми линиями $HV_н$ и $KV_к$, проводят из центра солнечного диска (D) параллельные им прямые $DZ_н$ и $DZ_к$, которые в пересечении с солнечным диском дают его точки c и e, обращенные к зениту в моменты начала и конца частных фаз затмения. От этих точек легко отсчитать углы от зенита $P_{zн}$ и $P_{zк}$ точек касания солнечного и лунного дисков в эти же моменты времени (часто эти углы обозначаются через $Z_н$ и $Z_к$).

Опустив из центра солнечного диска (D) перпендикуляр DM на топоцентрический путь Луны, получают на нем точку M, соответствующую положению центра лунного диска в момент наибольшей фазы солнечного затмения, а проведя из нее, как из центра, окружность радиусом $r_☾$, нетрудно найти наибольшую фазу затмения

$$\Phi_m = \frac{d}{2r_\odot},$$

где d — закрытая Луной часть диаметра солнечного диска.

Аналогично определяются частные фазы в любые моменты затмения, только в этих случаях необходимо найти на топоцентрическом пути Луны положения центра лунного диска в эти моменты времени.

Моменты времени определяются так же, как и в полиграфическом способе вычисления покрытий звезд Луной, с той лишь разницей, что отрезки пути $F''B''$ и $B''G''$ Луна проходит не за 1 час, а за другой интервал времени (2 или 3 часа). После окончания всех вычислений моменты приводятся к принятой системе счета времени.

§ 24. Предвычисление лунных затмений

Явление *лунного затмения* состоит в погружении Луны в земную тень. В зависимости от степени погружения Луны в тень Земли лунное затмение может быть п о л н ы м или ч а с т н ы м. Конус земной тени образуется внешними касательными к Солнцу и Земле (рис. 50); вершина его лежит за пределами лунной орбиты. Внутренние же касательные к Солнцу и Земле образуют расходящийся конус земной полутени с вершиной, лежащей между Солнцем и Землей. В связи с этим погружение Луны в земную тень, строго говоря, нужно называть *теневым затмением* Луны, в отличие от *полутеневого затмения*, при котором Луна проходит через полутень Земли. Полутеневое затмение не обнаруживается наблюдениями невооруженным

глазом, но с помощью инструментальных средств заметно небольшое ослабление света полной Луны. Наблюдения полутеневых затмений представляют значительный интерес для исследования прозрачности верхних слоев земной атмосферы.

Вследствие наличия у Земли атмосферы контуры земной тени и полутени весьма размыты. Поперечное сечение обоих конусов должно иметь вид эллипсов (из-за сфероидальной формы Земли), однако с достаточной степенью точности оба конуса можно полагать круговыми. Размытость краев земной тени приводит к тому, что положение контура тени на лунном диске может быть определено с точностью, не превышающей $\pm 6''$, и эта

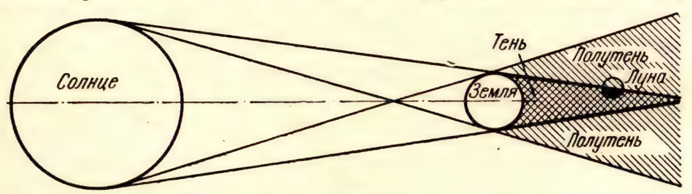


Рис. 50. Образование конуса земной тени и полутени (к объяснению явления лунных затмений).

размытость учитывается введением в размеры контуров тени и полутени поправочного коэффициента $k = \frac{51}{50} = 1{,}02$. Это же обстоятельство не позволяет вычислять лунные затмения с точностью, превышающей $\pm 0^m{,}5$, и поэтому можно пользоваться упрощенным методом вычисления.

Задача предвычислений лунных затмений состоит в определении моментов касания Луны с полутенью и тенью Земли, момента и величины наибольшей фазы затмения, продолжительности затмения, позиционных углов точек касания, в определении положения края земной тени на Луне в различные моменты времени и положения границ видимости лунного затмения на Земле.

Введем следующие обозначения:

Геоцентрические экваториальные координаты центров	Солнца	Земной тени	Земной полутени	Луны
Прямое восхождение	$\alpha_\odot$	α	α	$\alpha_☾$
Часовое изменение прямого восхождения	$\Delta\alpha_\odot$	$\Delta\alpha$	$\Delta\alpha$	$\Delta\alpha_☾$
Склонение	$\delta_\odot$	δ	δ	$\delta_☾$
Часовое изменение склонения	$\Delta\delta_\odot$	$\Delta\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\delta_☾$
Видимый угловой радиус	$r_\odot$	r *)	R *)	$r_☾$
Экваториальный горизонтальный параллакс	$p_\odot$	—	—	$p_☾$

Поскольку центр контуров земной тени и полутени всегда лежит на эклиптике, в точке, диаметрально противоположной

*) На расстоянии Луны от Земли.

центру Солнца, то

$$\alpha = \alpha_\odot + 180° \quad \text{и} \quad \delta = -\delta_\odot. \tag{1.320}$$

При вычислении r и R горизонтальный параллакс Луны $p'_☾$ относят не к экваториальному радиусу Земли, а к ее среднему радиусу, соответствующему географической широте $\varphi = 45°$; поэтому $p'_☾ = 0{,}99833 \cdot p_☾$ или $p'_☾ = \frac{599}{600} p_☾$.

Радиусы земной тени и полутени определяются выражениями

$$\left.\begin{aligned} r &= 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_☾ - r_\odot + p_\odot), \\ R &= 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_☾ + r_\odot + p_\odot). \end{aligned}\right\} \tag{1.321}$$

Разность радиусов

$$R - r = 2{,}04 \cdot r_\odot. \tag{1.322}$$

Тогда в моменты начала и конца полутеневого затмения, т. е. в моменты внешнего касания Луны с земной полутенью, угловое расстояние σ между центрами земной тени и лунного диска будет (рис. 51):

$$\sigma_1 = R + r_☾ = 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_☾ + r_\odot + p_\odot) + r_☾. \tag{1.323}$$

В момент полного погружения Луны в полутень или в момент начала выхода Луны из полутени происходит внутреннее касание Луны с полутенью и

$$\sigma_2 = R - r_☾ = 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_☾ + r_\odot + p_\odot) - r_☾. \tag{1.324}$$

В моменты начала и конца частного (теневого) затмения, т. е. в моменты внешнего касания Луны с земной тенью (первый и четвертый контакты),

$$\sigma_3 = r + r_☾ = 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_☾ - r_\odot + p_\odot) + r_☾. \tag{1.325}$$

В моменты начала и конца полного теневого затмения (второй и третий контакты) происходит внутреннее касание Луны с земной тенью, и тогда

$$\sigma_4 = r - r_☾ = 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_☾ - r_\odot + p_\odot) - r_☾. \tag{1.326}$$

Рис. 51. К определению углового расстояния между центрами лунного диска и конуса земной тени и полутени в различные моменты затмения Луны.

Вычисление обстоятельств лунного затмения может быть проведено двумя способами: аналитическим и графическим.

Аналитический метод. В любой момент времени экваториальные координаты центров земной тени и лунного диска связаны соотношениями (рис. 52):

$$\sin\sigma\sin Q = \cos\delta_{☾}\sin(\alpha_{☾} - \alpha), \qquad (1.327)$$

$$\sin\sigma\cos Q = \sin\delta_{☾}\cos\delta - \sin\delta\cos\delta_{☾}\cos(\alpha_{☾} - \alpha), \qquad (1.328)$$

$$\sin\sigma\sin P_1 = \cos\delta\sin(\alpha_{☾} - \alpha), \qquad (1.329)$$

$$\sin\sigma\cos P_1 = \sin\delta\cos\delta_{☾} - \sin\delta_{☾}\cos\delta\cos(\alpha_{☾} - \alpha), \qquad (1.330)$$

$$\sin Q\cos\delta = \sin P_1\cos\delta_{☾}, \qquad (1.331)$$

причем σ — угловое расстояние между центрами лунного диска и земной тени; Q — позиционный угол центра лунного диска при

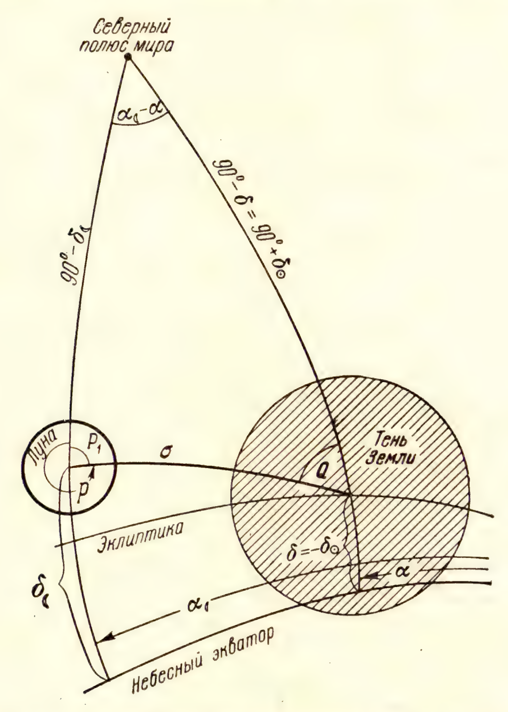


Рис. 52. Сферический треугольник, связывающий экваториальные координаты центров лунного диска и земной тени.

центре земной тени, отсчитываемый против часовой стрелки от направления к северному полюсу мира; $P_1 = 360° - P$, где P — позиционный угол центра земной тени при центре лунного диска.

Обычно в формулах (1.327) — (1.331) заменяют δ на $-\delta_{\odot}$ и α на $\alpha_{\odot} + 180°$. Мы не рекомендуем делать второй замены, так как при вычислениях о ней часто забывают и вносят ошибку, равную 180°.

Поэтому, заменяя δ на $-\delta_\odot$ и P_1 на $360° - P$, получим:

$$\sin\sigma \sin Q = \cos\delta_☾ \sin(\alpha_☾ - \alpha), \tag{1.332}$$

$$\sin\sigma \cos Q = \sin\delta_☾ \cos\delta_\odot + \sin\delta_\odot \cos\delta_☾ \cos(\alpha_☾ - \alpha), \tag{1.333}$$

$$\sin\sigma \sin P = -\cos\delta_\odot \sin(\alpha_☾ - \alpha), \tag{1.334}$$

$$\sin\sigma \cos P = -\sin\delta_\odot \cos\delta_☾ - \sin\delta_☾ \cos\delta_\odot \cos(\alpha_☾ - \alpha), \tag{1.335}$$

$$\sin Q \cos\delta_\odot = -\sin P \cos\delta_☾. \tag{1.336}$$

Момент середины затмения T_m (он же момент наибольшей линейной фазы Φ_m затмения) близок к моменту T_0 геоцентрического противостояния Луны с Солнцем по прямому восхождению. Вследствие малых и почти пропорциональных времени изменений $\alpha_☾$, $\delta_☾$ и α, δ в течение всего затмения, охватывающего интервал времени $\Delta T \approx T_0 \pm 3^h$, вычисление всех обстоятельств затмения проводят относительно исходного момента T_u, близкого к T_0 (или относительно самого T_0), и лишь при необходимости уточнения результатов находят второе приближение вычисленных моментов времени. Исходный момент T_u выбирается так, чтобы он содержал целое число десятков минут, что облегчает технику вычислений. Значения α, δ, $\alpha_☾$, $\delta_☾$, σ, P и линейной фазы затмения (теневой Φ и полутеневой Θ) в течение всего хода затмения вычисляют на моменты времени, разделенные интервалами в 10 минут, и сводят в таблицу, называемую эфемеридой лунного затмения.

По эфемеридам Солнца и Луны, взятым из Астрономического Ежегодника, интерполированием (см. гл. VI) находят момент T_0 *) геоцентрического противостояния Луны с Солнцем по прямому восхождению; в момент T_0

$$\alpha_☾ = \alpha_\odot + 12^h \quad \text{или} \quad \alpha_☾ = \alpha_\odot + 180°.$$

По часовым изменениям $\Delta\alpha_☾$, $\Delta\delta_☾$, $\Delta\alpha_\odot$ и $\Delta\delta_\odot$ экваториальных координат Луны и Солнца находят $\alpha_☾$, $\delta_☾$, $\alpha_\odot$ и $\delta_\odot$, а следовательно, α и δ центра земной тени, на моменты времени, отстоящие в обе стороны от T_u на 1^h, 2^h и 3^h.

Если α_u и δ_u суть экваториальные координаты на момент T_u, то для любого другого момента времени T

$$\left.\begin{aligned} \alpha_T &= \alpha_u + \Delta\alpha(T - T_u) \\ \text{и} \quad \delta_T &= \delta_u + \Delta\delta(T - T_u), \end{aligned}\right\} \tag{1.337}$$

где $T - T_u$ выражено в часах.

Для центра земной тени

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \alpha_u + \Delta\alpha_\odot(T - T_u) \\ \text{и} \quad \delta &= \delta_u - \Delta\delta_\odot(T - T_u). \end{aligned}\right\} \tag{1.338}$$

---

*) О моментах времени см. § 5 гл. I.

В течение затмения σ, $(\alpha_{☾} - \alpha)$ и $(\delta_{☾} - \delta) = (\delta_{☾} + \delta_{\odot})$ являются сравнительно малыми величинами, и ими можно заменить синусы в формулах (1.332)—(1.335).

Обозначая правые части равенств (1.322) и (1.323) через x и y, получим для любого момента затмения:

$$\sigma \sin Q = x, \quad \sigma \cos Q = y \quad \text{и} \quad \sigma = +\sqrt{x^2 + y^2}. \qquad (1.339)$$

Тогда $x = (\alpha_{☾} - \alpha)\cos\delta_{☾}$ и $y = \delta_{☾} + \delta_{\odot} - \omega$, где ω — поправка на изменение $(\alpha_{☾} - \alpha)$:

$$\omega = 206265 \cdot \sin 2\delta_{\odot} \sin^2 \frac{\alpha_{☾} - \alpha}{2}. \qquad (1.340)$$

Здесь величины ω, x и y выражены в секундах дуги.

По значениям x и y на соседние моменты времени (разделенные интервалом в 1 час) находят их часовые изменения

$$x' = x_2 - x_1, \quad y' = y_2 - y_1, \qquad (1.341)$$

где x_2, y_2 и x_1, y_1 суть величины, относящиеся соответственно к последующему и предыдущему моментам времени.

Часовые изменения x' и y' могут быть вычислены по приближенным, но вполне применимым в этом случае формулам

$$x' = (\Delta\alpha_{☾} - \Delta\alpha_{\odot})\cos\delta_{☾}, \quad y' = \Delta\delta_{☾} + \Delta\delta_{\odot}, \qquad (1.342)$$

причем вполне допустимо взять $\cos\delta_{☾}$ только лишь для момента T_u или, что еще лучше, для T_0.

Обозначая через x_0, y_0 значения x и y для исходного момента T_u, можно считать, что для произвольного момента $T = T_u + t$ x и y определяются формулами

$$\left.\begin{aligned} x &= x_0 + x't, \\ y &= y_0 + y't, \end{aligned}\right\} \qquad (1.343)$$

где t выражено в долях часа.

Таким образом, задавая интервалы времени t, можно вычислить для любого момента T значения x и y и затем по формулам (1.339) определить σ и Q для этих моментов.

Для вычисления моментов и позиционных углов контактов края лунного диска с полутенью и тенью Земли можно воспользоваться следующим способом решения.

Введем вспомогательные величины $m > 0$, $n > 0$, M и N, связанные между собой соотношениями

$$\left.\begin{aligned} m \sin M &= x_0, \quad n \sin N = x', \\ m \cos M &= y_0, \quad n \cos N = y', \end{aligned}\right\} \qquad (1.344)$$

откуда найдем

$$\left.\begin{aligned} m = +\sqrt{x_0^2 + y_0^2}, \quad n = +\sqrt{x'^2 + y'^2}, \\ \operatorname{tg} M = \frac{x_0}{y_0}, \quad \operatorname{tg} N = \frac{x'}{y'} \end{aligned}\right\} \qquad (1.345)$$

и определим значения M и N в соответствии со знаками формул (1.344).

Далее, составим разность $(M - N)$ и найдем $\sin(M - N)$ и $\cos(M - N)$.

Тогда величина позиционного угла Q центра лунного диска при центре земной тени определится из соотношений

$$\sin(Q - N) = \frac{m}{\sigma} \sin(M - N) \quad \text{и} \quad Q = (Q - N) + N. \quad (1.346)$$

Формулы (1.346) дают два значения $(Q - N)$ и Q, одно из которых соответствует началу, а другое — концу полутеневого или теневого затмения.

Для начала затмения

$$+90° < (Q - N) < +270° \quad \text{и} \quad 180° < Q < 360°;$$

для конца затмения

$$-90° < (Q - N) < +90° \quad \text{и} \quad 0° < Q < 180°. \quad (1.347)$$

Более удобно определять положение точек контактов не на контуре тени (или полутени), а на лунном диске. Это положение определяется позиционным углом P при центре лунного диска (рис. 52), который определяется из формулы (1.336) или, полагая с достаточной степенью точности, что $\cos\delta_{\odot} \approx \cos\delta_{☾}$, по более простой формуле

$$P = Q \pm 180°. \quad (1.348)$$

Для начала затмения

$$0° < P < 180°,$$

для конца затмения

$$180° < P < 360°. \quad (1.349)$$

$$\left.\begin{aligned} &\text{Момент наибольшей фазы } T_m = T_\text{ц} + t_m, \text{ где} \\ &t_m = -\frac{m}{n}\cos(M - N) \text{ и выражено в долях часа,} \\ &t_m = -\frac{60 \cdot m}{n}\cos(M - N) \text{ выражено в минутах времени.} \end{aligned}\right\} \quad (1.350)$$

Продолжительность затмения

$$\left.\begin{aligned} &\tau = 2\frac{\sigma}{n}\cos(Q - N) \text{ выражена в часах} \\ &\text{или} \\ &\tau = 120\frac{\sigma}{n}\cos(Q - N) \text{ выражена в минутах.} \end{aligned}\right\} \quad (1.351)$$

В этих формулах σ и $\cos(Q - N)$ принадлежат одному и тому же моменту времени.

Моменты контактов, т. е. моменты начала и конца затмения (полного, частного, полутеневого), определяются из условия

$$T = T_u + t, \quad \text{где} \quad t = \pm \frac{\tau}{2} + t_m, \qquad (1.352)$$

причем для начала $\frac{\tau}{2} < 0$, а для конца $\frac{\tau}{2} > 0$.

В зависимости от определения момента того или иного контакта в формулу (1.351) подставляются значения σ_1, σ_2, σ_3 или σ_4 и соответствующие им значения $\cos(Q - N)$.

При вычислении моментов контактов полезна проверка их точности. Для этого по вычисленным моментам $T_н$ и $T_к$ одного вида затмения находят $T_m = \frac{T_н + T_к}{2}$ и сравнивают его с результатом, полученным по формуле (1.350). Точно так же $\tau = T_к - T_н$ должно совпасть с результатом формулы (1.351).

Величина наибольшей фазы Φ_m затмения, выражаемая в долях диаметра лунного диска, определяется как

$$\Phi_m = \frac{\sigma - |m \sin(M - N)|}{2r_☾}. \qquad (1.353)$$

Здесь берется абсолютное значение величины $m \sin(M - N)$; при полутеневом затмении $\sigma = \sigma_1$, при теневом $\sigma = \sigma_3$.

Вычисления обстоятельств затмения значительно упрощаются, если за исходный момент T_u принять момент T_0 геоцентрического противостояния Луны с Солнцем. Так как в этот момент $\alpha_☾ = \alpha$, то в формулах (1.340), (1.342) и (1.343) $x_0 = 0$, $\omega = 0$, $y_0 = \delta_☾ + \delta_\odot$, $x = x't$ и $y = (\delta_☾ + \delta_\odot) + y't$. Тогда по формулам (1.344) и (1.345), $m = y_0 = \delta_☾ + \delta_\odot$ и $M = 0°$ или $180°$. Соответственно упрощаются и остальные выражения.

Во время частного затмения его линейная фаза может быть вычислена по формулам:

$$\left.\begin{aligned} &\text{для полутеневого затмения} \quad \Theta = \frac{\sigma_1 - \sigma}{2r_☾}, \\ &\text{для теневого затмения} \quad \Phi = \frac{\sigma_3 - \sigma}{2r_☾}, \end{aligned}\right\} \qquad (1.354)$$

причем σ определяется по формуле

$$\left.\begin{aligned} &\cos\sigma = \sin\delta \sin\delta_☾ + \cos\delta \cos\delta_☾ \cos(\alpha_☾ - \alpha) \\ &\text{или} \\ &\cos\sigma = -\sin\delta_\odot \sin\delta_☾ + \cos\delta_\odot \cos\delta_☾ \cos(\alpha_☾ - \alpha). \end{aligned}\right\} \qquad (1.355)$$

Позиционный угол P во время затмения вычисляется по формуле

$$\sin P = -\cos\delta \cdot \frac{\alpha_☾ - \alpha}{\sigma} = -\cos\delta_\odot \cdot \frac{\alpha_☾ - \alpha}{\sigma}. \qquad (1.356)$$

Вычисления по формулам (1.355) и (1.356) требуют применения семизначных таблиц тригонометрических функций или их

логарифмов. В противном случае точность вычислений будет недостаточной.

После вычислений обстоятельств затмения можно получить второе приближение моментов контактов. Для этого нужно принять вычисленные моменты за исходные и повторить вычисления заново. Уточнение же величины позиционных углов P можно провести по формуле (1.356), подставляя в нее $(\alpha_☾ - \alpha)$, σ и $\cos\delta_\odot$ для соответствующих моментов времени (моментов контактов).

Лунное затмение видно на всем ночном полушарии Земли. Восточная граница видимости затмения проходит через те места земной поверхности, в которых затмение начинается в момент захода Луны. Западной границей затмения является линия, на которой затмение заканчивается в момент восхода Луны. Эти границы, называемые предельными линиями затмения, вычисляются обычно для начала и конца частного и полного затмения, а также для его наибольшей фазы.

Пусть T есть момент по всемирному (гринвичскому) времени, в который наступает заданная фаза лунного затмения (начало, конец, наибольшая фаза). Тогда, вычислив на момент T звездное время S в Гринвиче и зная $\alpha_☾$ в этот момент, найдем часовой угол t Луны в Гринвиче. В месте восхода (или захода) Луны на широте φ в тот же момент часовой угол будет $t_☾$, причем

$$\cos z_☾ = \sin\varphi \sin\delta_☾ + \cos\varphi \cos\delta_☾ \cos t_☾. \qquad (1.357)$$

Здесь $z_☾$ — зенитное расстояние центра Луны в моменты ее восхода и захода,

$$z_☾ = 90^\circ + r_☾ - p_☾ + \rho, \qquad (1.358)$$

где ρ — рефракция в горизонте.

Поскольку рефракция меняется ото дня ко дню, то приходится вводить среднюю рефракцию $\rho = 35'$, а это означает, что нет смысла учитывать точные значения $r_☾$ и $p_☾$ и достаточно ограничиться их средними значениями $r_☾ = 15'39''$ и $p_☾ = 57'30''$, что приводит к значениям $z_☾ = 89^\circ 53',1$, $\cos z_☾ = 0{,}0019926$ и $\lg\cos z_☾ = 7{,}299416 - 10$.

Зная на тот же момент $\delta_☾$, задаются различными φ и по формуле (1.357) вычисляют для каждой φ два значения $t_☾$: для восхода $t_☾ < 0$ и для захода $t_☾ > 0$.

Географическая долгота λ мест, лежащих на предельных линиях, получится из равенства

$$\lambda = t_☾ - t. \qquad (1.359)$$

Отношение площади s той части лунного диска, которая покрыта земной тенью, к площади s_0 всего лунного диска называется *поверхностной фазой* затмения. Очевидно, поверхностная

фаза $\Phi_0 = \frac{s}{s_0}$ может быть вычислена для любого момента времени по линейной фазе затмения Ф. Для этого найдем для теневого затмения $b = \frac{r}{r_☾}$ $\left(\text{для полутеневого затмения } b = \frac{R}{r_☾}\right)$ и вычислим на определенные моменты времени величину $\varkappa = 2 \cdot \sqrt{\Phi(1-\Phi)(b-\Phi)(b+1-\Phi)}$. Тогда

$$\Phi_0 = \frac{1}{\pi}[b^2\psi_1 + \psi_2 - \varkappa], \tag{1.360}$$

причем углы ψ_1 и ψ_2 выражены в радианах и определяются равенствами

$$\sin\psi_2 = \frac{\varkappa}{b+1-2\Phi} \quad \text{и} \quad \sin\psi_1 = \frac{\sin\psi_2}{b}. \tag{1.361}$$

Можно также вычислить геометрическую фазу затмения Φ_g (см. стр. 124) и по ней находить $\Phi_0 = 1 - \Phi_g$. Для облегчения вычисления Φ_0 по Ф приводим табл. VIII, составленную для $b = 2{,}60$; 2,66; 2,70 и 2,80.

Таблица VIII

Значения Φ_0

Ф \ b	2,60	2,66	2,70	2,80
0,1	0,04487	0,04497	0,04509	0,04528
0,2	0,12447	0,12484	0,12506	0,12561
0,3	0,22404	0,22462	0,22496	0,22588
0,4	0,33717	0,33793	0,33840	0,33959
0,5	0,45944	0,46000	0,46059	0,46202
0,6	0,58556	0,58651	0,58717	0,58841
0,7	0,71218	0,71319	0,71347	0,71485
0,8	0,83217	0,83285	0,83332	0,83436
0,9	0,93635	0,93672	0,93696	0,93744
1,0	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

Пример вычисления полного лунного затмения 7 ноября 1957 г.

Из эфемерид Луны и Солнца на ноябрь 1957 г., помещенных в Астрономическом Ежегоднике на 1957 г., находим:

T_0 = 7 ноября, $14^h16^m43^s$ по всемирному времени, или $T_0 = 14^h16^m{,}7$.

Интерполируя по соседним моментам экваториальные координаты Солнца и Луны, находим для момента T_0, который примем за исходный:

$\alpha_\odot = 14^h49^m48^s$

$\Delta\alpha_\odot = +10^s{,}0 = +150''{,}0$

$\delta_\odot = -16°18'43''$

$\Delta\delta_\odot = -44''{,}3$

$p_\odot = 8''{,}9$

$r_\odot = 16'08''{,}6 = 968''{,}6$

$\alpha = 2^h49^m48^s$

$\alpha_☾ = 2^h49^m48^s$

$\Delta\alpha_☾ = +2^m07^s{,}9 = +1918''{,}5$

$\delta_☾ = +15°54'14''$

$\Delta\delta_☾ = +6'25''{,}4 = +385''{,}4$

$p_☾ = 55'35''{,}4 = 3335''{,}4$

$r_☾ = 15'08''{,}1 = 908''{,}1$

$\delta = +16°18'43''$.

Вычисление обстоятельств затмения

По (1.321) и (1.322) $r = 2418'' = 40',3;$ $R = 4394'' = 1^\circ\,13',2;$

$R - r = 1976'' = 32',9.$

По (1.323)—(1.326) $\sigma_1 = 5302'' = 1^\circ\,28',4;$ $\sigma_2 = 3486'' = 58',1;$

$\sigma_3 = 3326'' = 55',4;$ $\sigma_4 = 1510'' = 25',2.$

По (1.340) и (1.343) $x_0 = 0;\quad \omega = 0;$ $y_0 = -24'30'' = -1470'';$

$\Delta\alpha_{\leftmoon} - \Delta\alpha_{\odot} = +1768'',5;$ $\Delta\delta_{\leftmoon} + \Delta\delta_{\odot} = +341'',1;$

$\cos\delta_{\leftmoon} = +0,961723.$

По (1.342)

$$x' = +1701'';\quad x'^2 = 2\,893\,401;\quad y' = +341'';\quad y'^2 = 116\,349.$$

По (1.344) и (1.345)

$$m = +1470'',0;\qquad n = +1722'',1;\qquad \frac{m}{n} = +0,853609;$$

$\sin M = 0;$ $\operatorname{tg} N = +4,986807;$

$\cos M = -1;$ $\sin N > 0,\quad \cos N > 0;$

$M = 180^\circ;$ $N = 75^\circ\,39',7;$

$M - N = 101^\circ\,20',3;$ $\cos(M - N) = -0,196612;$

$\sin(M - N) = +0,980481;$

$m\cos(M - N) = -289'',0;$ $m\sin(M - N) = +1441'',3.$

	Частное полутеневое затмение		Полное полутеневое затмение	
	Начало	Конец	Начало	Конец
	$\sigma_1 = 5302''$		$\sigma_2 = 3486''$	
По (1.346) $\sin(Q - N)$	$+0,271842$		$+0,413454$	
и (1.347) $\cos(Q - N)$	$\pm 0,962342$		$\pm 0,910525$	
$Q - N$	$164^\circ\,13',6$	$15^\circ\,46',4$	$155^\circ 34,7$	$24^\circ 25',3$
Q	$242^\circ\,53',3$	$94^\circ\,26',1$	$234^\circ 14',4$	$103^\circ 05',0$
По (1.348) и (1.349) P	$62^\circ\,53',3$	$274^\circ\,26',1$	$54^\circ 14',4$	$283^\circ 05',0$
Округленно P	$62^\circ,9$	$274^\circ,4$	$54^\circ,2$	$283^\circ,1$
По (1.350)	$t_m = +10^m,0$			
	$T_m = 10^h 26^m,7$		$T_0 = 14^h 16^m,7$	
$2\dfrac{\sigma}{n}$	$6,15760$		$4,04854$	
По (1.351) τ	$5^h,8833 =$	$5^h 53^m,0$	$3^h,6863 =$	$3^h 41^m,2$
$\dfrac{\tau}{2}$	$-2^h 56^m,5$	$+2^h 56^m,5$	$-1^h 50^m,6$	$+1^h 50^m,6$
По (1.352) t	$-2^h 46^m,5$	$+3^h 06^m,5$	$-1^h 40^m,6$	$+2^h 00^m,6$
T	$11^h 30^m,2$	$17^h 23^m,2$	$12^h 36^m,3$	$16^h 17^m,3$
Проверка:				
$T_н + T_к$	$28^h 53^m,4$		$28^h 53^m,4$	
$T_m = \dfrac{T_н + T_к}{2}$	$14^h 26^m,7$		$14^h 26^m,7$	
$\tau = T_к - T_н$	$5^h 53^m,0$		$3^h 41^m,2$	
$\sigma - \lvert m\sin(M - N)\rvert$			$3861''$	
$2r_{\leftmoon}$			$1816''$	
По (1.353) Φ_m			$2,13$	
b			$\dfrac{R}{r_{\leftmoon}} = 4,839$	

		Частное теневое затмение		Полное теневое затмение	
		Начало	Конец	Начало	Конец
		$\sigma_3 = 3326''$		$\sigma_4 = 1510''$	
По (1.346)	$\sin(Q - N)$	$+0{,}433343$		$+0{,}954503$	
	$\cos(Q - N)$	$\pm 0{,}901220$		$\pm 0{,}298208$	
и (1.347)	$Q - N$	154° 19′,2	25° 40′,8	107° 21′,0	72° 39′,0
	Q	232° 58′,9	104° 20′,5	186° 00′,7	151° 18′,7
По (1.348) и (1.349)	P	52° 58′,9	284° 20′,5	6° 00′,7	331° 18′,7
Округленно P		53°,0	284°,3	6°,0	331°,3
	$2\frac{\sigma}{n}$	3,86273		1,75367	
По (1.351)	τ	$3^h{,}4567 = 3^h27^m{,}4$		$0^h{,}5229 = 0^h31^m{,}4$	
	$\frac{\tau}{2}$	$-1^h43^m{,}7$	$+1^h43^m{,}7$	$-0^h15^m{,}7$	$+0^h15^m{,}7$
По (1.352)	t	$-1^h33^m{,}7$	$+1^h53^m{,}7$	$-0^h05^m{,}7$	$+0^h25^m{,}7$
	T	$12^h43^m{,}0$	$16^h10^m{,}4$	$14^h11^m{,}0$	$14^h42^m{,}4$
Проверка:					
	$T_н + T_к$	$28^h53^m{,}4$		$28^h53^m{,}4$	
	$T_m = \frac{T_н + T_к}{2}$	$14^h26^m{,}7$		$14^h26^m{,}7$	
	$\tau = T_к - T_н$	$3^h27^m{,}4$		$0^h31^m{,}4$	
	$\sigma - \lvert m \sin(M - N)\rvert$			1885″	
	$2r_{☾}$			1816″	
По (1.353)	Φ_m			1,04	
	b			$\frac{r}{r_{☾}} = 2{,}663$	

Вычисление эфемериды. Пример на $T = 14^h00^m$

$$T - T_0 = -0^h16^m{,}7 = -0^h{,}2783.$$

По (1.337) $\Delta\alpha_{☾}(T - T_0) = -36^s$; $\quad\Delta\delta_{☾}(T - T_0) = -1'\,48''$;

$\alpha_{☾} = 2^h49^m12^s$; $\quad\delta_{☾} = +15°\,52'\,26''$;

$\Delta\alpha_{\odot}(T - T_0) = -2^s{,}8 = -3^s$; $\quad\Delta\delta_{\odot}(T - T_{\odot}) = +12''$;

$\alpha = 2^h49^m45^s$; $\quad\delta = +16°\,18'\,31''$;

$(\alpha_{☾} - \alpha) = -0^m33^s = -8'15''$;

$\lg\cos(\alpha_{☾} - \alpha) = 9{,}9999987 - 10$;

$\lg\cos\delta = 9{,}9821641 - 10$; $\quad\lg\sin\delta = 9{,}4484141 - 10$;

$\lg\cos\delta_{☾} = 9{,}9831146 - 10$; $\quad\lg\sin\delta_{☾} = 9{,}4369905 - 10$

По (1.355) $\cos\sigma = 0{,}9999686$; $\quad\sigma = 27'{,}2$;

По (1.354) $\Phi = 0{,}93$; $\quad\Theta = 2{,}02$;

$\cos\delta = +0{,}959763$; $\quad\frac{\alpha_{☾} - \alpha}{\sigma} = -0{,}303309.$

По (1.356) $\sin P = +0{,}291105$; $\quad P = 16°{,}9.$

Вычисление границ видимости затмения

По (1.358) $z_{☾} = 89°\,53'{,}1$; $\cos z_{☾} = 0{,}0019926$; $\lg\cos z_{☾} = 7{,}299416 - 10.$

Пример для $\varphi = +50°$.

	Начало частного затмения при восходе	Начало полного затмения при восходе	Наибольшая фаза затмения при восходе	Конец полного затмения при восходе	Конец частного затмения при восходе
T	$12^h43^m,0$	$14^h11^m,1$	$14^h26^m,7$	$14^h42^m,3$	$16^h10^m,4$
Из эфемериды					
$\delta_☾$	$+15°\,44'\,12''$	$+15°\,53'\,37''$	$+15°\,55'\,20''$	$+15°\,56'\,56''$	$+16°\,06'\,21''$
$\lg\sin\delta_☾$	9,4333160	9,4375159	9,4382768	9,4389847	9,4431260
$\lg\cos\delta_☾$	9,9834090	9,9830721	9,9830103	9,9829525	9,9826108
φ	$+50°$	$+50°$	$+50°$	$+50°$	$+50°$
$\lg\sin\varphi$	9,8842540				
$\lg\cos\varphi$	9,8080675				
По (1.357)					
$\lg\cos t_☾$	$9,5148371n$	$9,5206307n$	$9,5234953n$	$9,5252749n$	$9,5270463n$
$t_☾$	$250°\,54'$	$250°\,38'$	$250°\,30'$	$250°\,25'$	$250°\,20'$
t	$195°\,40'$	$216°\,53'$	$220°\,39'$	$224°\,28'$	$245°\,43'$
По (1.359) λ	$+55°\,14'$	$+33°\,45'$	$+29°\,51'$	$+25°\,57'$	$+4°\,37'$

Аналитическое определение положения края земной тени на лунной поверхности требует сложных расчетов, и за неимением места мы его здесь не приводим. Интересующихся отсылаем к книге акад. А. А. Михайлова «Теория затмений». Графический способ этого определения приводится ниже.

Графический метод вычислений лунных затмений. Идея этого способа будет ясна из рассмотренного ниже примера графического вычисления обстоятельств лунного затмения 7 ноября 1957 г.

Найдем, как и ранее (см. стр. 160), необходимые величины:

$T_0 = 14^h16^m,7$ примем за исходный момент

$\alpha_\odot = 14^h49^m48^s$ $\qquad$ $\alpha_☾ = 2^h49^m48^s$

$\Delta\alpha_\odot = +10^s,0 = +150'',0$ $\qquad$ $\Delta\alpha_☾ = +2^m07^s,9 = +1918'',5$

$\delta_\odot = -16°\,18'\,43''$ $\qquad$ $\delta_☾ = +15°\,54'\,14''$

$\Delta\delta_\odot = -44'',3$ $\qquad$ $\Delta\delta_☾ = +6'\,25'',4 = +385'',4$

$p_\odot = 8'',9$ $\qquad$ $p_☾ = 55'\,35'',4 = 3335'',4$

$r_\odot = 16'\,08'',6 = 968'',6 = 16',1$ $\qquad$ $r_☾ = 15'\,08'',1 = 908'',1 = 15',1$

$\alpha = 2^h49^m48^s$ $\qquad$ $\delta = +16°\,18'\,43''$

$r = 2418'' = 40',3$ $\qquad$ $R = 4394'' = 73',2$

$b = \dfrac{r}{r_☾} = 2,66$ $\qquad$ $b' = \dfrac{R}{r_☾} = 4,84$

$\Delta\alpha_\odot = +150'',0;\ \Delta\alpha_☾ = +1918'',5;\ \Delta\alpha_☾ - \Delta\alpha_\odot = +1768'',5;\ \cos\delta_☾ = +0,961723;$

$$OA = x' = (\Delta\alpha_☾ - \Delta\alpha_\odot)\cos\delta_☾ = +1701'' = +28',4;$$

$$AD = y' = \Delta\delta_☾ + \Delta\delta_\odot = +341'',1 = +5',7;$$

$$OC = y_0 = \delta_☾ + \delta_\odot = -0°\,24'\,29'' = -24',5; \quad x_0 = 0.$$

На листе бумаги проведем две взаимно-перпендикулярные прямые, точка O пересечения которых изобразит центр контуров земной тени и полутени (рис. 53). Прямая NS представит круг склонения, проходящий через центр земной тени в момент T_0; направление от O к N есть направление к северному полюсу мира. Прямая EW изображает небесную параллель; OE — направление к востоку; OW — к западу.

Выберем масштаб для изображения угловых величин (больший масштаб обеспечивает бо́льшую точность вычислений); на рис. 53 принято 1 *мм* = 2′.

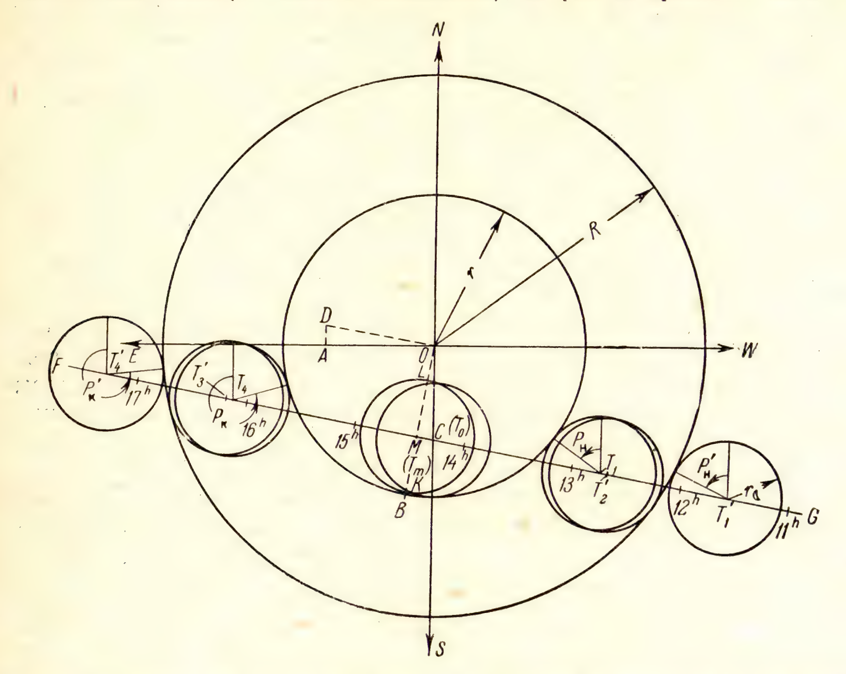


Рис. 53. Построение для графического способа определения обстоятельств лунного затмения 7 ноября 1957 г.

В принятом масштабе опишем из O две окружности: одну радиусом $r = 40',3$ (контур тени) и другую радиусом $R = 73',2$ (контур полутени).

По небесной параллели от точки O отложим отрезок $OA = x' = 28',4$ (в сторону увеличения прямого восхождения), который представляет перемещение Луны по небесной параллели EW за 1 час относительно земной тени. Из точки A восставим перпендикуляр, на котором отложим отрезок $AD = y'$ (если $AD < 0$, то его следует откладывать вниз, в сторону S). Полученный отрезок OD представляет величину перемещения центра лунного диска за 1 час и, следовательно, служит масштабом времени: OD = 1 час = 14,6 *мм*.

Отложим на прямой NS отрезок $OC = y_0 = -24',5$, получим точку C, в которой находится центр Луны в момент T_0 ее геоцентрического противостояния с Солнцем. Прямая FG, проведенная через C параллельно OD, изобразит видимый путь Луны во время затмения. Точка C представляет также момент $T_0 = 14^h 16^m,7$.

Используя масштаб времени (1 час = 14,6 *мм*; 1 минута = 0,24 *мм*), отложим на прямой FG от точки C вправо отрезок 4,1 *мм*, соответствующий $16^m,7$; получим точку, изображающую момент $T' = 14^h 0^m 0$. От этой точки вправо и влево по прямой FG отложим отрезки, равные 14,6 *мм* (1 час), и получим точки, соответствующие моментам времени $11^h\,0^m,0$, $12^h\,0^m,0$, $13^h\,0^m,0$,

$15^h 0^m,0$, $16^h 0^m,0$ и $17^h 0^m,0$. Опустив из точки O на прямую FG перпендикуляр OM, получим точку M, в которой центр лунного диска находится в середине затмения T_m и в которой наступает наибольшая фаза затмения Φ_m.

Теперь радиусом $r_☾ = 15',1$ построим ряд окружностей, изображающих положение лунного диска в различные моменты затмения. Центры этих окружностей лежат на прямой FG. Так, построив окружности, касательные к полутени, мы получим точки T_1' и T_4', в которых находится лунный диск в моменты вступления в полутень (T_1') и выхода из нее (T_4'). Эти точки получаются, если из центра O провести дуги радиусом $U = R + r_☾ = 88',3$. По масштабу времени определяем эти моменты: $T_1' = 11^h 31^m,2$; $T_4' = 17^h 22^m,3$, которые близки к вычисленным аналитически. Проведя через точки T_1' и T_4' радиусы, параллельные NS, измерим позиционные углы P между ними и направлениями из них $(T_1'$ и $T_4')$ к точке O (или к точкам касания лунного диска с полутенью); для начала полутеневого затмения $P_н' = 63°,0$; для конца полутеневого затмения $P_к' = 274°,5$.

Аналогично строятся положения лунного диска для внутренних контактов с полутенью $(T_2'$ и $T_3')$, внешних контактов с тенью (T_1 и T_4), внутренних контактов с тенью (T_2 и T_3 на чертеже не показаны), середины затмения (T_m) и для момента геоцентрического противостояния (T_0). По масштабу времени и с помощью транспортира найдем:

$$T_2' = 12^h 37^m,2; \quad T_3' = 16^h 16^m,1; \quad T_1 = 12^h 44^m,6; \quad T_4 = 16^h 08^m,8;$$

$$P_н = 53°; \quad P_к = 284°;$$

$$T_m = 14^h 25^m,9.$$

Даже при небольшом масштабе построения полученные значения T и P близки к вычисленным ранее.

Отметим на перпендикуляре OM точку L его пересечения с краем лунного диска (для наибольшей фазы) и продлим перпендикуляр до пересечения с другой точкой K края лунного диска и точкой B контура земной тени. Тогда наибольшая линейная теневая фаза $\Phi_m = \frac{LB}{KL}$. Измерив отрезок $LB = 15,7$ *мм* и зная, что $KL = 2r_☾ = 15,1$ *мм*, найдем $\Phi_m = 1,04$.

Подобные построения в случае необходимости могут быть проведены для любого момента затмения.

Границы видимости затмения легко могут быть определены по глобусу. Для этого находят географические координаты λ_z и φ_z мест, в которых Луна в различные моменты затмения проходит через зенит: $\lambda_z = \alpha_☾ - S_0$, $\varphi_z = \delta_☾$, где S_0 — гринвичское звездное время, $\alpha_☾$ и $\delta_☾$ — координаты Луны для тех же моментов времени.

Из найденных точек проводят окружности радиусом 90°; эти окружности и будут соответствующими предельными линиями, географические координаты точек которых снимаются с глобуса.

Положение края земной тени на лунном диске определяется селенографическими координатами: селенографической долготой λ и селенографической широтой β. Для этого нужно изобразить сетку селенографической системы координат в ортографической проекции. Лучше всего воспользоваться для этой цели ортографическими сетками для обработки наблюдений Солнца, прилагаемыми к данному Календарю.

Так как радиус сетки равен 5 *см*, то радиус окружности, изображающей контур земной тени, должен быть равен $5 \cdot b$ *см*, где $b = \frac{r}{r_☾}$. Для лунного

затмения 7 ноября 1957 г. $b = \frac{r}{r_{☾}} = 2{,}66$. Поэтому начертим на листе бумаги окружность радиусом $r = 5 \cdot 2{,}66 = 13{,}3$ *см* *) (рис. 54) и построим на том же чертеже путь Луны во время затмения, как это только что было объяснено **). На прямой FG наметим точки, отстоящие друг от друга на 10 минут времени. В эти точки мы будем помещать центр ортографической сетки при определении селенографических координат λ и β края земной тени на лунной поверхности в определенные моменты времени.

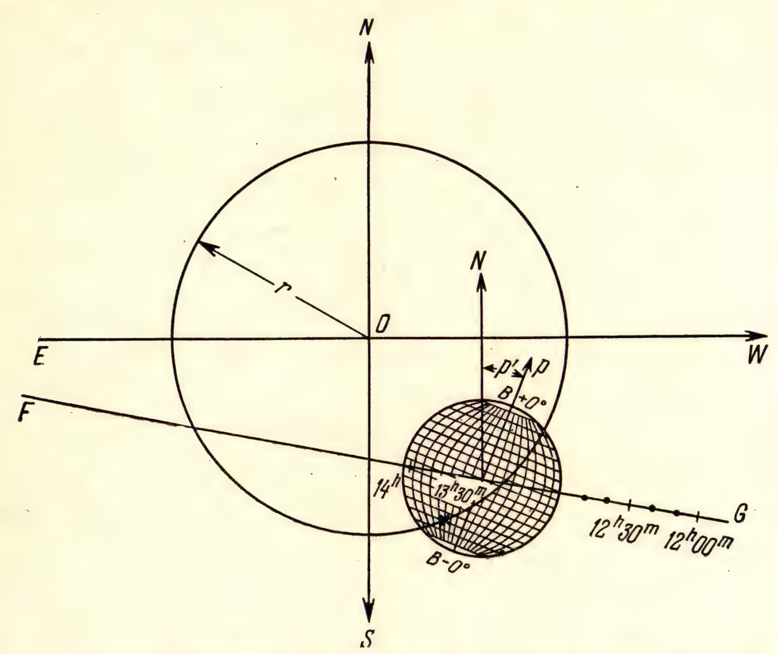


Рис. 54. Определение положения края земной тени на лунном диске при затмении Луны 7 ноября 1957 г.

Вследствие либраций Луны по долготе и широте селенографические координаты λ_0 и β_0 видимого центра лунного диска колеблются в определенных пределах. Значения λ_0 и β_0 на начало суток (на 0^h всемирного времени) приводятся в разделе физических координат Луны астрономических ежегодников и календарей (в Астрономическом Ежегоднике СССР этот раздел называется «Эфемериды для физических наблюдений Луны»). В этом же разделе приводится видимое положение проекции лунной оси на картинную плоскость, определяемое позиционным углом P, отсчитываемым от северной точки лунного диска против часовой стрелки. Поэтому ортографическую сетку следует выбирать в зависимости от значения β_0, а ориентировать ее — в соответствии со значением P.

---

*) На рис. 54 масштаб уменьшен в пять раз.

**) Если все предыдущее построение провести на большом листе бумаги и выбрать такой масштаб, при котором диск Луны изобразится кругом диаметром 10 *см*, то надобность в специальном вторичном построении отпадает.

Выпишем из Астрономического Ежегодника на 1957 г. значения β_0, λ_0 и P на 0^h 7 ноября и 8 ноября 1957 г.

7 ноября, 0^h $\beta_0 = -0°,40$; $\lambda_0 = -3°,70$; $P = 339°,4$;
8 ноября, 0^h $\beta_0 = +1°,08$; $\lambda_0 = -4°,42$; $P = 342°,9$.

По этим данным найдем β_0, λ_0 и P на момент середины затмения $T_m = 14^h 26^m,7 \approx 14^h,5$: $\beta_0 = +0°,5$, $\lambda_0 = -4°,0$, $P = 341°,5$ — все эти величины округлены до 0°,5, так как большей точности отсчета ортографическая сетка не обеспечивает.

В соответствии с $\beta_0 = +0°,5$ следовало бы выбрать ортографическую сетку. Но в прилагаемом наборе имеются сетки либо для $\beta_0 = +0°$ (обозначена «$B + 0°$»), либо для $\beta_0 = +1°$ (обозначена «$B + 1°$»). Можно воспользоваться любой из них, но в результаты измерений β следует внести поправку $\Delta\beta = \beta_0 - B$. При выборе сетки «$B + 0°$» поправка $\Delta\beta = \beta_0 - B = +0°5 - 0° = +0°,5$. При выборе сетки «$B + 1°$» поправка $\Delta\beta = \beta_0 - B = +0°,5 - 1° = -0°,5$.

Выберем сетку «$B + 0°$», т. е. $\Delta\beta = +0°,5$.

Пусть нам требуется определить положение края земной тени на лунной поверхности в момент $T = 13^h 30^m$ по всемирному времени. Из точки на прямой FG, соответствующей заданному моменту времени $T = 13^h 30^m$, проводим прямую, параллельную NS. Направление этой прямой на север также обозначим через N. Наложим ортографическую сетку на чертеж и совместим ее центр с заданной точкой $T = 13^h 30^m$.

Центральный меридиан сетки изображает проекцию лунной оси, и поэтому его северный конец, отмеченный «$B + 0°$», следует отклонить от направления на север N на угол $P = 341°,5$, т. е. отклонить вправо (по часовой стрелке) на угол $P' = 360° - 341°,5 = 18°,5$. При таком положении сетки по ее оцифровке отсчитываются координаты точек края земной тени: к северу от экватора сетки отсчитывается $\beta' > 0$ и к югу от экватора $\beta' < 0$; вправо, к западу, от центрального меридиана сетки отсчитывается $\lambda' > 0$ и влево, к востоку, $\lambda' < 0$.

Теперь необходимо исправить найденные кординаты λ' и β' за смещение центра лунного диска вследствие либрации по долготе (λ_0) и неточности выбранной сетки (β_0):

$$\lambda = \lambda' - \lambda_0, \quad \beta = \beta' + \Delta\beta.$$

В нашем случае точка края земной тени, отмеченная крестиком ($\times$), имеет $\lambda' = -30°,0$, $\beta' = -66°,0$ и, окончательно, $\lambda = -30°,0 + 4°,0 = -26°,0$; $\beta = -66°,0 + 0°,5 = -65°,5$.

Глава II

ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ

Практическая астрономия занимается вопросами определения географических координат места наблюдателя (т. е. широты и долготы), ориентировкой на местности (определение направления меридиана) и некоторыми вопросами Службы времени (определение поправки и хода часов). Бóльшая часть задач, решаемых практической астрономией, требует измерения вертикальных и горизонтальных углов с помощью угломерных инструментов — теодолита, универсального инструмента, или секстанта (прибор, измеряющий только высоты светил). Кроме одного из этих инструментов, наблюдатель должен иметь в своем распоряжении часы достаточно высокого качества.

Измеренные высоты светил наблюдатель должен исправлять за рефракцию земной атмосферы (см. таблицы 18а и 18б).

§ 1. Приближенные методы определения времени, широты и направления меридиана при помощи гномона

Для приближенного решения задач практической астрономии можно пользоваться древнейшим астрономическим прибором — *гномоном*. Простейший тип этого прибора представляет собой прямой стержень, вертикально установленный на горизонтальной площадке. Измерения длины и направления тени, отбрасываемой этим стержнем, позволяют определить направление меридиана (полуденной линии), широту и момент истинного полудня.

На рисунке 55, где изображен гномон, $KLMR$ — горизонтальная плоскость и CF — вертикально установленный стержень. Для определения направления полуденной линии проведем вокруг точки C окружность произвольного радиуса. С появлением над горизонтом Солнца стержень будет отбрасывать в западном направлении тень, которая начнет перемещаться по направлению к точке севера, постепенно укорачиваясь. (На рис. 55 траектория конца тени изображена прерывистой линией.) В какой-то момент длина тени станет равна радиусу окружности. Зафиксируем направление тени, отметив положение ее конца на окружности (точка A). Укоротившись в момент истинного

полдня до наименьшей своей длины, тень стержня начнет удлиняться, двигаясь в восточном направлении, и в точке B ее конец вторично пересечет окружность. Отметив положение точки B и проведя биссектрису угла ACB — линию CD, мы определим направление полуденной линии, так как видимый путь Солнца по небесной сфере симметрично расположен к западу и к востоку от небесного меридиана (это будет не совсем точно из-за непрерывного изменения склонения Солнца, но погрешность очень мала).

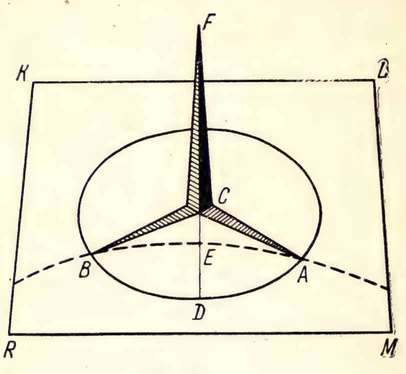


Рис. 55. Гномон.

Если в один из последующих дней отметить по часам момент, в который тень гномона ляжет вдоль полуденной линии, измерив при этом длину тени CE, то можно определить как поправку часов (см. § 5), так и широту места.

Широта определяется по формуле $\varphi = \delta + z$, где значения склонения Солнца δ берется из переменной части Астрономического Календаря, а зенитное расстояние Солнца z вычисляется по формуле $\operatorname{tg} z = \frac{l}{d}$, где d — высота стержня CF и l — длина его тени.

§ 2. Определение направления меридиана

Направление меридиана в ночное время проще всего определить, пользуясь теодолитом, по Полярной звезде. При этом обычно находится не направление на север или на юг, а определяется азимут какого-либо земного предмета, видимого из точки наблюдения. Если такой азимут определен, то, пользуясь горизонтальным кругом теодолита, можно легко найти и направление меридиана.

Для облегчения определения азимута земного предмета по Полярной звезде в Переменной части Астрономического Календаря даются значения северо-восточных и северо-западных азимутов Полярной с точностью до 1′ по аргументам широты (от 35 до 70°) и звездного времени.

После нивелирования трубу теодолита наводят на земной предмет, затем на Полярную и (для контроля) снова на земной предмет. Во всех случаях производят отсчет по горизонтальному кругу теодолита, а при наблюдении Полярной отмечают также и время по часам.

Для вычисления азимута земного предмета по широте места и моменту времени (звездного) находят в АК значение азимута

Полярной a. Этот азимут, как уже говорилось, может быть северо-восточным или северо-западным. В первом случае он считается положительным, во втором — отрицательным. Для получения астрономического азимута следует найти сумму $180° + a$. После этого вычисляют разность отсчетов «земной предмет минус Полярная» (для земного предмета берут среднее арифметическое из двух отсчетов) и прибавляют ее к астрономическому азимуту Полярной, получая при этом азимут земного предмета.

Пример. Для определения азимута земного предмета были произведены следующие наблюдения:

Объект	Отсчет по горизонтальному кругу	Момент по звездному времени
Земной предмет	153° 22′	
Полярная	49° 17′	17^h42^m
Земной предмет	153° 24′	

Приближенная широта места равна 50°, год 1973.

Находим по Переменной части АК на 1973 г. по аргументам $\varphi = 50°$ и $s = 17^h42^m$ северо-восточный азимут Полярной $a = 63'$.

Астрономический азимут Полярной равен $180° + 1°03' = 181°03'$.

Среднее из двух отсчетов земного предмета равно 153°23′. Разность отсчетов «земной предмет минус Полярная» равна $153°23' - 49°17' = 104°06'$. Азимут земного предмета будет равен $181°03' + 104°06' = 285°09'$.

Легко понять, что азимут нулевого штриха на круге теодолита равен $285°09' - 153°23' = 131°46'$, откуда следует, что направлению на точку юга соответствует деление $360° - 131°46' = 228°14'$.

§ 3. Одновременное определение широты и долготы места

Среди существующих способов одновременного определения широты и долготы места наблюдения наибольшей простотой обладает графический способ, применяемый в мореходной и в авиационной астрономии. Этот способ основан на своеобразном применении кругов равных высот светил.

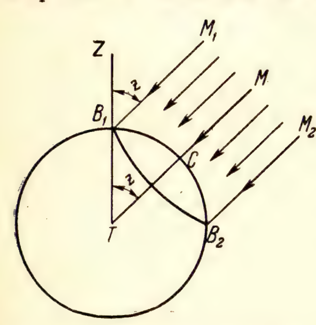


Рис. 56. Круг равных высот светила.

Проведем воображаемую линию от центра Земли по направлению к какому-нибудь светилу. Эта линия пересечет земную поверхность в точке, в которой светило будет видно в зените. Такая точка называется *географическим местом светила* (ГМС).

Если наблюдатель находится в точке B_1 земной поверхности (рис. 56), то он будет видеть светило на некотором зенитном расстоянии z, измеряемом углом ZB_1M_1. Но из рис. 56 видно, что $\angle ZB_1M_1 = \angle B_1TC$, т. е. что зенитное расстояние светила равно угловому расстоянию наблюдателя от ГМС (точки C). Отсюда сле-

дует, что если мы на земной поверхности проведем вокруг точки C малый круг сферическим радиусом CB_1, то в любой из точек этого круга светило будет наблюдаться на одном и том же зенитном расстоянии, равном дуге CB_1, соответствующей углу B_1TC. Такой круг называется *кругом равных высот* светила, так как в каждой его точке зенитные расстояния светила, а следовательно, и высоты светила одинаковы.

Чем ближе находится наблюдатель к ГМС, тем высота светила больше, а зенитное расстояние меньше. Из равенства зенитных расстояний сферическим радиусам кругов равных высот следует, что расстояние между двумя кругами равных высот для одной и той же точки поверхности в угловой мере равно разности соответствующих зенитных расстояний.

Предположим, что наблюдатель находится в некоторой точке земной поверхности, приближенные («счислимые») координаты которой φ_0 и λ_0 известны, например, с точностью до 1°. В момент T_n по времени часового пояса n наблюдатель измеряет высоту h какого-нибудь светила. Для этого же момента можно вычислить «счислимую» высоту светила $h_{сч}$ по формуле

$$\sin h_{сч} = \sin \varphi_0 \sin \delta + \cos \varphi_0 \cos \delta \cos t.$$

Экваториальные координаты светила δ и α можно взять из Переменной части Астрономического Календаря. С помощью Астрономического Календаря можно также вычислить момент по гринвичскому звездному времени S, соответствующий моменту T_n измерения высоты светила. Тогда часовой угол наблюдаемого светила вычисляется по формуле

$$t = S + \lambda_0 - \alpha.$$

Если измерялась высота Солнца, то его часовой угол вычисляется по формуле

$$t_\odot = T_n - n - \eta + \lambda_0 \pm 12^{\mathrm{h}},$$

где η — уравнение времени, которое тоже находится по Астрономическому Календарю.

Вычисление высоты светила $h_{сч}$ производится с точностью до 1′. Другую горизонтальную координату светила, его азимут, достаточно знать с точностью до 1°.

Азимут можно вычислить по формуле

$$\sin A = \sin (S + \lambda_0 - \alpha) \cos \delta \sec h_{сч}$$

или определить с помощью стереографической сетки (см. добавление, задача 8). Значения sin и cos можно брать до третьего знака.

Предположим сначала, что вычисленная высота светила $h_{сч}$ оказалась равной измеренной высоте h. Это, конечно, не означает, что точка земной поверхности B_0 с координатами φ_0 и λ_0 является истинным местом наблюдения, но это указывает на то, что точка B_0 была расположена в момент T_n на том же круге равных высот светила, что и истинное место наблюдения.

Провести на карте через точку B_0 круг равных высот светила на основе имеющихся данных не представляется возможным. Но можно построить в точке B_0 касательную к этому кругу. Для этого следует на географической карте поликонической проекции, не искажающей направлений на небольшой площади) провести через точку B_0 ее меридиан и, отложив от него угол, равный вычисленному азимуту светила, прочертить направление на ГМС, а затем провести в точке B_0 к этому направлению перпендикуляр K_1L_1 (рис. 57), который и будет касательной к кругу равных высот, проходящему через точку B_0. Эту линию называют *линией положения*, или *прямой равных высот*.

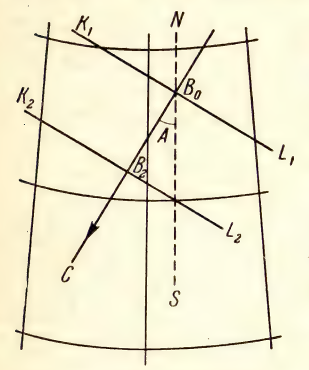


Рис. 57. Линия положения на карте.

Можно считать, что в одной из точек прямой K_1L_1 находится действительное место наблюдателя, так как радиус круга равных высот очень велик (при высоте светила, меньшей 70°, этот радиус превышает 2000 *км*). Поэтому касательная к этому кругу на значительном расстоянии (не менее 100 *км*) практически совпадает с его дугой.

Предположим теперь, что измеренная высота светила h не равна вычисленной высоте $h_{сч}$. Но расстояние между двумя кругами равных высот равно разности соответствующих высот. Следовательно, действительное место наблюдателя должно находиться на круге равных высот, отстоящем от круга равных высот, проходящего через точку B_0 на расстоянии $h - h_{сч} = \Delta h$ *км* (считая $1' = 1{,}852$ *км*). Легко понять, что в случае $h > h_{сч}$ наблюдатель должен находиться ближе к ГМС, чем точка B_0. Если же $h < h_{сч}$, то наблюдатель находится от ГМС дальше, чем точка B_0. На рис. 57 показан случай, когда $\Delta h > 0$, вследствие чего линия положения K_2L_2 смещена от точки B_0 в направлении к ГМС.

Таким образом, порядок работы, заканчивающийся прокладкой на карте линии положения, следующий:

а) В момент T_n по времени часового пояса n измеряют высоту светила h.

б) Для этого же момента, пользуясь Астрономическим Календарем и таблицами, вычисляют высоту $h_{сч}$ и азимут A све-

тила, принимая приближенные значения географических координат φ_0 и λ_0.

в) Вычисляют разность $\Delta h = h - h_{сч}$ и переводят ее в километры.

г) На карте через точку с координатами φ_0 и λ_0 проводят меридиан и направление на ГМС (линию B_0C).

д) Если $\Delta h > 0$, то его откладывают по направлению на светило, или если $\Delta h < 0$, то в противоположном направлении; конец отложенного отрезка обозначают B_2.

е) На карте, перпендикулярно к направлению на светило, через точку B_2 прокладывают линию положения.

Пример. 12 ноября 1973 г. в момент $T_n = 4^h20^m$ по московскому времени была измерена высота h Капеллы, оказавшаяся равной 63°22′; приближенные географические координаты наблюдателя: $\varphi_0 = 52°$ и $\lambda_0 = +48°$.

Требуется вычислить Δh и A и проложить на карте линию положения, в одной из точек которой должен находиться наблюдатель.

Обозначим: T_0 — всемирное время, s_0 — звездное гринвичское время в 0^h всемирного времени, Δs — изменение звездного времени за 1^h20^m среднего времени, s — местное звездное время.

Вычисление часового угла Капеллы:

$$T_n = 4^h20^m \qquad S = 71°\,02'$$
$$\underline{T_0 = 1^h20^m} \qquad \underline{\lambda_0 = 48°}$$
$$S_0 = 3^h23^m54^s \qquad s = 119°\,02' \qquad \delta = +\,45°\,58'$$
$$\underline{\Delta s = 1^h20^m13^s} \qquad \underline{\alpha = 78°\,40'} \qquad \varphi_0 = 52°$$
$$S = 4^h44^m07^s \qquad t = 40°\,22'$$

Определение разности высот Δh и азимута Капеллы:

$\lg\sin\varphi_1$	9,8965		
$\lg\sin\delta$	9,8567	$\sin h_{сч} = \mathrm{I} + \mathrm{II}$	0,8925
$\lg \mathrm{I}$	9,7532	$h_{сч}$	63° 11′
I	0,5665	h	63° 22′
		Δh	+ 11′
$\lg\cos\varphi_1$	9,7893	Δh	+ 20 *км*
$\lg\cos\delta$	9,8420	A	93°
$\lg\cos t$	9,8819		
$\lg \mathrm{II}$	9,5132		
II	0,3260		

Прокладка линии положения по ее элементам $\Delta h = +20$ *км* и $A = 93°$ сделана на рис. 58 Если бы наблюдатель в момент измерения высоты светила находился на каком-нибудь линейном ориентире, изображенном на карте (например, на береговой линии реки или моря, на железнодорожном пути и т. п.), то одной линии положения было бы достаточно, чтобы определить истинное место наблюдения, так как этим местом, очевидно, являлась бы точка пересечения линии положения с линейным ориентиром. Но, если такой ориентир отсутствует, то для получения на карте истинного места следует провести не одну, а две линии положения, в точке пересечения которых и будет, очевидно,

истинное место наблюдения. Для этого следует измерить высоты двух светил, разность азимутов которых не менее 50° или не более 130° (см. табл. X), или пронаблюдать светило второй раз через промежуток времени, необходимый для того, чтобы азимут светила изменился на такую же величину.

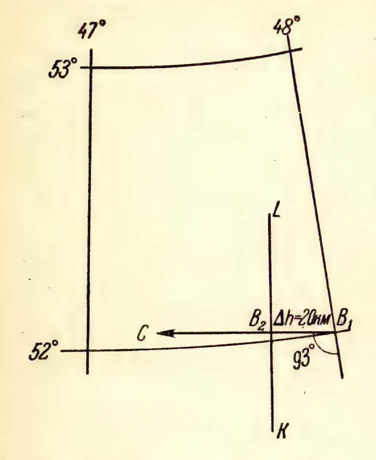


Рис. 58. Прокладка линии положения.

Если на карте определено место наблюдения, то можно отсчитать и географические координаты этого места, т. е. его широту и долготу.

Точность определения широты и долготы с помощью изложенного способа больше всего зависит от точности, с которой измерены высоты светил, и от масштаба карты. Если высоты измеряются с точностью до 1′, то масштаб карты должен быть не меньше 1 : 500 000 (5 *км* в одном сантиметре). Только в этом случае можно рассчитывать получить широту и долготу с ошибкой, не превышающей 2′. Однако на точность определения φ и λ влияют также использованная длина линии положения, т. е. расстояние наблюдателя от точки B_2, и величина угла между линиями положения.

В табл. IX дается допустимая длина линии положения, при которой расстояние круга равных высот от касательной к нему (т. е. линии положения) не превышает 2 *км*. Из табл. IX видно, что эта длина l зависит от значения высоты светила h.

Таблица IX

h	20°	40°	60°	70°	80°
l	530 *км*	350 *км*	240 *км*	190 *км*	130 *км*

Наименьшая ошибка в географических координатах места наблюдения получается в том случае, если две линии положения пересекаются под прямым углом. Если величину этой ошибки принять за единицу, то ошибки географических координат при углах, отличных от 90°, примут значения, указанные в табл. X.

Таблица X

Угол между линиями положения	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°
Относительные ошибки	1,00	1,02	1,06	1,15	1,31	1,56	2,0	2,9

§ 4. Определение широты места

Из многих способов определения широты места своей простотой отличается способ определения широты по Полярной звезде.

Так как широта места равна высоте полюса мира, а Полярная находится от полюса мира на расстоянии, меньшем 1°, то, измерив высоту Полярной, можно получить значение широты с ошибкой, не превышающей 1°. Для более точного определения широты в измеренную высоту Полярной следует ввести поправки, значения которых даются с точностью до 1′ в Переменной части Астрономического Календаря. Обозначаются эти поправки чаще всего: величина I, величина II и величина III.

Величина I может быть вычислена по формуле

$$\Delta\varphi_{\mathrm{I}} = -(90^\circ - \delta_{\Pi}) \cos t_{\Pi}$$

или, иначе,

$$\Delta\varphi_{\mathrm{I}} = -(90^\circ - \delta_{\Pi}) \cos (s - \alpha_{\Pi}),$$

откуда видно, что она является функцией склонения Полярной и звездного времени. Она может принимать значения от $-(90^\circ - \delta_{\Pi})$ до $+(90^\circ - \delta_{\Pi})$. Это дает изменение поправки I от $-56'$ до $+56'$.

Величина II является функцией звездного времени и широты места (высоты Полярной). Для интервала широт от 35 до 75° она по абсолютному значению не превосходит 1′,5. Величина III является функцией звездного времени и даты (дня года). По своему абсолютному значению она лишь в редких случаях достигает 1′.

Из сказанного видно, что если вводить в измеренную высоту Полярной только первую поправку («величину I») и пренебречь двумя другими поправками, широта получится с ошибкой, лишь в редких случаях превосходящей 2′.

Пример. В 1973 г. в момент по местному звездному времени 17^h34^m была измерена высота Полярной, оказавшаяся равной 53°28′. Определить широту места.

Из Астрономического Календаря берем «величину I»: $\Delta h_{\mathrm{I}} = +32'$.

Вычисляем широту места: $\varphi = 53^\circ28' + 32' = 54^\circ00'$.

Сумма величин II и III не превосходит в данном случае $-0',3$.

Если в месте наблюдения направления меридиана каким-либо способом определено, то широту места можно найти, измеряя высоту или зенитное расстояние звезды, находящейся в верхней или нижней кульминации. Широта вычисляется по формулам:

$$\varphi = \delta \pm (90^\circ - h) = \delta \pm z \quad \text{(для верхней кульминации)}$$

(верхний знак берется, если светило кульминирует к югу от зенита),

$$\varphi = 90^\circ - \delta + h = 180^\circ - \delta - z \quad \text{(для нижней кульминации)}.$$

Вследствие того, что высоты светил близ их кульминаций изменяются медленно, ошибка в определении широты, происходящая из-за измерения высот не точно в моменты кульминаций звезд, сравнительно невелика.

§ 5. Служба времени любителя

При всех астрономических наблюдениях необходимо, с той или иной степенью точности, отмечать и записывать моменты времени наблюдаемых явлений. Для этой цели служат часы самых разнообразных конструкций. На практике в распоряжении любителя чаще всего могут быть хорошие карманные часы с секундной стрелкой или без нее и — реже — хронометры.

Часы или хронометры могут идти либо по звездному времени, либо по среднему солнечному времени. В первом случае часы называют звездными, во втором — средними солнечными или просто средними часами. Какими бы часами любитель ни пользовался, необходимо помнить, что их показания T только случайно в какой-то момент могут совпадать с точным временем.

Разность между точным временем M, безразлично — звездным или средним солнечным, в какой-либо момент и показаниями часов T, соответственно в звездном или среднем времени, в этот же момент называется *поправкой часов* u, т. е.

$$u = M - T. \tag{2.1}$$

Отсюда

$$M = T + u. \tag{2.2}$$

Иными словами, поправка часов u есть та величина, которую следует прибавить к показаниям часов T, чтобы получить точное время M. Определение точного времени сводится, таким образом, к определению поправки часов.

Поправка часов u может быть отрицательной (показания часов T больше точного времени M — «часы ушли вперед») и положительной (показания часов T меньше точного времени M — «часы отстали»).

Поправка часов $u = 0$, если $T = M$, т. е. если часы показывают точное время.

Однако в силу технического несовершенства часы не могут идти вполне точно. Поэтому поправка не остается постоянной. Изменение поправки часов за определенный промежуток времени называется *ходом часов* ω.

Если показания часов в некоторый момент были T_1, их поправка u_1, а в последующий момент T_2 и u_2, то ход часов

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{T_2 - T_1}. \tag{2.3}$$

Если промежуток времени $T_2 - T_1$ выражен в сутках, то ход часов называется *суточным*, если в часах — *часовым*, и т. д. Ход часов положителен, если их поправка с течением времени увеличивается, т. е. если $u_2 > u_1$ (часы «отстают»), и отрицателен, если их поправка с течением времени уменьшается, т. е. если $u_2 < u_1$ (часы «спешат»).

Если известен ход часов ω и поправка часов u_1 для момента T_1, то поправка часов u для любого предыдущего или последующего момента T согласно уравнению (2.3) будет:

$$u = u_1 + \omega(T - T_1). \tag{2.4}$$

Качество часов характеризуется не величиной их поправки и не величиной их хода, а равномерностью хода, его постоянством. Практически удобно иметь часы с небольшой поправкой и, особенно, с небольшим ходом. Если ход часов велик, то, передвигая регулятор часов, можно путем последовательных проб свести его к минимуму. Хорошие карманные часы можно отрегулировать так, чтобы их суточный ход не превышал 10—15 *сек.*

Колебания хода часов в первом приближении можно считать ошибками случайного характера и при оценке достоинства часов применять теорию случайных ошибок. При этом достоинство часов будет выражено двумя величинами:

1) *Средним квадратическим уклонением* v отдельных ходов часов ω_i от их общего среднего $\omega_{ср}$

$$v = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n \Delta\omega_i^2}{n-1}}, \tag{2.5}$$

где $\Delta\omega_i = \omega_i - \omega_{ср}$, n — количество измерений, а

$$\omega_{ср} = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \ldots + \omega_n}{n}, \qquad i = 1, 2, \ldots, n.$$

Чем меньше v, тем часы лучше, и наоборот. У хороших карманных часов с температурной компенсацией балансира величина v может быть около 2—3 *сек*, у хороших хронометров она не превосходит $\pm 0{,}3$ *сек.*

2) *Средней вариацией*, или просто вариацией хода ε_δ, равной среднему квадратическому из разностей смежных ходов, т. е.

$$\varepsilon_\delta = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n \delta_i^2}{n}}, \tag{2.6}$$

где $\delta_i = \omega_{i+1} - \omega_i$, $i = 1, 2, \ldots, n$. Чем меньше ε_δ, тем часы лучше.

Постоянство хода часов зависит от многих причин, но главным образом от температурных колебаний окружающей среды, от изменения положения часов и от времени их завода. Поэтому рекомендуется:

1) защищать часы от резких температурных колебаний;

2) носить и хранить часы всегда в одном положении (лучше всего заводной головкой вверх),

3) заводить часы *регулярно* в одно и то же время суток.

Под *службой времени* любителя следует понимать систематическое и регулярное определение любителем поправок своих часов с последующим вычислением их суточных или часовых ходов.

Поправку часов можно определить двумя путями:

А) из соответствующих астрономических наблюдений (см. гл. II, § 6), выполненных самим любителем. Это необходимо делать в тех случаях, когда надо знать поправку часов относительно точного местного времени, а географическая долгота места наблюдения неизвестна;

Б) из приема радиосигналов точного времени.

Московские радиовещательные станции передают сигналы точного времени — «шесть точек». Передаются они в конце каждого часа работы станции.

Начало каждой из «шести точек» является сигналом времени и соответствует 55, 56, 57, 58, 59 и 60-й секундам последней минуты соответствующего часа, т. е. их точные (программные) моменты следующие:

Начало	1-й	«точки»	59^m	55^s
»	2-й	»	59	56
»	3-й	»	59	57
»	4-й	»	59	58
»	5-й	»	59	59
»	6-й	»	59	60

Прием сигналов поверки времени может быть осуществлен с помощью любого радиовещательного приемника или радиотрансляционной точки.

Прием производится на слух следующим образом. Радиоприемник настраивается на длину волны радиостанции, передающей сигналы поверки времени. Слушая сигналы, надо заметить и записать показания своих часов в момент передачи какого-либо определенного сигнала. Замечать и записывать надо сначала секунды и их доли, а затем минуты и часы.

Если часы имеют секундомер, то эта операция значительно облегчается. В этом случае надо пустить секундомер в ход в нулевую секунду по часам, незадолго до передачи сигналов, и остановить его в момент приема соответствующего радиосигнала. Показания секундомера дадут тогда целые секунды и их доли.

Вычитая затем из программного момента передачи сигнала записанные показания своих часов, получим их поправку относительно московского декретного времени.

Пример. В 10 часов по московскому декретному времени были приняты сигналы поверки времени. В моменты передач первой и шестой «точек» записаны показания часов:

$$9^h53^m20^s,3 \quad и \quad 9^h53^m25^s,5.$$

Отсюда поправка часов

$$u_1 = 9^h59^m55^s - 9^h53^m20^s,3 = +6^m34^s,7$$
$$u_6 = 10^h00^m00^s - 9^h53^m25^s,5 = +6^m34^s,5$$
$$\text{Среднее } u = +6^m34^s,6$$

Хотя сигналы поверки времени передаются с большой точностью (их ошибки меньше $\pm$ 0,05 *сек*), тем не менее прием на слух позволяет определять поправку своих часов с точностью до 0,5 *сек* (в лучшем случае до $0^s,1$—$0^s,2$).

Если требуется знать время с точностью до 0,01—0,02 *сек* и в распоряжении любителя имеется хронометр, то следует пользоваться *ритмическими сигналами.* В настоящее время большинство служб времени Советского Союза и Европы передают эти сигналы по следующей программе.

После передачи соответствующих позывных с 55 минут до 60 минут соответствующего часа передаются секунды средних часов. Нулевая (или 60-я) секунда каждой минуты передается в виде «тире», продолжительностью около 0,4 *сек.* Остальные 59 *сек* передаются как «точки», продолжительностью около 0,1 *сек.*

В промежутке от нулевой минуты до 1-й минуты соответствующего часа передается длительное тире (от 15 до 30 *сек*) для определения запаздывания радиоприемных устройств. Затем с 1 до 6-й минуты соответствующего часа передается 306 ритмических сигналов. Шесть из них, приходящихся на нулевую (или 60-ю) секунду каждой минуты, передаются в виде «тире», остальные 300 сигналов — в виде «точек», разделенных «тире» на пять серий, по 60 сигналов в каждой.

Таким образом интервал между ритмическими сигналами не равен целой секунде, а составляет $^{60}/_{61}$ или $\sim$ 0,9836 *сек* среднего времени. Умножив 0,9836 *сек* на k = 1,002738 (см. § 4, гл. I), получим интервал между ритмическими сигналами в звездном времени. Он равен $\sim$ 0,9863 *сек* звездного времени. Зная интервал между ритмическими сигналами, а также, что нулевой сигнал совпадает с нулевой секундой соответствующей минуты среднего времени, можно вычислить точный программный момент каждого ритмического сигнала по среднему солнечному или по звездному времени. На практике поступают иначе. Программным моментом считают момент середины подачи ритмических сигналов, т. е. средний момент между 30 и 31-м

сигналами III серии. (По среднему солнечному времени этот момент приходится на 3 *мин* 30,000 *сек* соответствующего часа.) Затем составляются таблицы редукций каждого ритмического сигнала к этому среднему, программному моменту. Аргументами в этих таблицах являются номер серии и номер ритмического сигнала.

Таблицы составляются для приема ритмических сигналов на средний хронометр (интервал между сигналами принимается равным 0,9836 *сек* среднего времени) и для приема на звездный хронометр (интервал принимается равным 0,9863 *сек* звездного времени). Таблицы редукций ритмических сигналов даны в отделе «Таблицы» (табл. 17).

Для приема ритмических сигналов необходимо иметь специальный приемник, позволяющий принимать передачи, даваемые в телеграфном режиме.

Приемник настраивается на длину волны радиостанции, передающей ритмические сигналы. Считая ритмические сигналы и слушая полусекундные удары хронометра, надо заметить показания последнего в момент наилучшего совпадения определенного ритмического сигнала с определенным полусекундным или секундным ударом хронометра. Записать показания хронометра (сначала записываются секунды и их доли, затем минуты и часы), номер ритмического сигнала и номер серии. Продолжая считать сигналы в уме или беря снова счет их номеров от начального «тире», заметить следующее совпадение ритмического сигнала с ударом хронометра, записать, как и в предыдущем сравнении, затем заметить следующее совпадение и т. д.

При приеме на средний хронометр в течение всех пяти серий можно получить 9—10 совпадений, при приеме на звездный хронометр — 10—11.

Затем с помощью соответствующей таблицы редукций ритмических сигналов записанные моменты по хронометру приводятся к середине подачи и из них берется среднее арифметическое.

Вычитая из точного программного момента это среднее арифметическое значение, получаем поправку хронометра.

Пример. 4 июля 1959 г. были приняты на звездный хронометр, идущий по московскому звездному времени, ритмические сигналы в 18 часов по мировому времени. В нижеследующей таблице записаны: номер серии, номер ритмического сигнала и показания хронометра в моменты совпадений его ударов с ритмическими сигналами (первые три столбца).

Далее идет столбец, где выписаны редукции на середину передачи. В последнем столбце вычислены показания хронометра, приведенные к среднему моменту передачи, который по всемирному времени равен $18^h03^m30^s,000$, по местному гринвичскому звездному времени равен $12^h48^m49^s,694$, по местному московскому звездному времени $15^h19^m00^s,375$. Средняя квадратичная ошибка (см. гл. VI), с которой определено среднее из девяти показаний хронометра, равна $\pm 0^s,009$. Вычитая из среднего момента передачи среднее значение по хронометру, получаем поправку хронометра u относительно местного московского звездного времени, т. е.

$$u = 15^h19^m00^s,375 - 15^h18^m41^s,540 = +18^s,835.$$

№ серий	№ ритмич. сигналов	Показания хронометра	Редукция	Показания хронометра, приведенные к среднему моменту передачи
I	10	$15^h16^m21^s,0$	$+2^m20^s,55$	$15^h18^m41^s,55$
I	46	15 16 56,5	+1 45,04	15 18 41,54
II	22	15 17 33,0	+1 8,55	15 18 41,55
II	57	15 18 7,5	+0 34,03	15 18 41,53
III	34	15 18 45,0	−0 3,45	15 18 41,55
IV	9	15 19 20,5	−0 38,96	15 18 41,54
IV	45	15 19 56,0	−1 14,47	15 18 41,53
V	21	15 20 32,5	−1 50,96	15 18 41,54
V	57	15 21 8,0	−2 26,47	15 18 41,53
			Среднее	$15^h18^m41^s,54$

Расписание передач ритмических сигналов с указанием длин волн передатчиков мы здесь не приводим, так как оно не является стационарным, особенно для сигналов, передаваемых на коротких волнах, и меняется в зависимости от сезона года. В случае необходимости его можно получить в Службе времени Института физико-технических и радиотехнических измерений по адресу: Московская обл., пос. Менделеево.

§ 6. Определение времени и долготы из наблюдений

Если широта места известна, то поправку часов выгоднее всего определять по измерениям высоты светила, азимут которого близок к 90° или к 270°, т. е. когда светило наблюдается на востоке или на западе. Допускаются отклонения от этих азимутов в пределах ±30°. Момент измерения высоты светила отмечается по часам. По формуле

$$\cos t = \frac{\sin h - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta} = \frac{\cos z}{\cos\varphi\cos\delta} - \operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta = A\cos z - B,$$

или (если часовой угол звезды сравнительно близок к нулю или 180°) по формуле

$$\sin^2\frac{t}{2} = \frac{\cos(\varphi-\delta)}{2\cos\varphi\cos\delta} - \frac{\cos z}{2\cos\varphi\cos\delta} = C - D\cos z$$

вычисляют значение часового угла t, после чего можно найти и звездное время, равное сумме часового угла и прямого восхождения светила, $s = t + \alpha$.

Для логарифмического вычисления удобно пользоваться формулой

$$\sin^2\frac{t}{2} = \frac{\cos(\varphi-\delta)}{2\cos\varphi\cos\delta}\left[1 - \frac{\cos z}{\cos(\varphi-\delta)}\right].$$

Следует помнить, что если светило наблюдалось на востоке, то $90° < \frac{1}{2}t < 180°$, а если на западе, то $0 < \frac{1}{2}t < 90°$.

Если часы, по которым был отмечен момент измерения высоты светила, — звездные, то поправка часов находится по формуле

$$u = s - T.$$

Если же часы — средние и идут по поясному времени, то надо перейти от звездного времени s (или непосредственно от часового угла в случае, если наблюдалось Солнце) к поясному времени $T_п$. В этом случае поправка часов будет равна

$$u = T_п - T.$$

В тех случаях, когда долгота места наблюдения неизвестна, поправка часов может быть определена только относительно местного времени (звездного или среднего солнечного). Зная эту поправку, можно определить и долготу места при условии, если известна также поправка (тех же часов) относительно времени меридиана с известной долготой. Эта последняя поправка определяется в настоящее время по радиосигналам времени.

Обозначим через T_0 показания часов в момент приема сигналов времени и через T' — момент определения поправки часов из астрономических наблюдений. Так как эти моменты различны, полученную по радиосигналам поправку u_0 необходимо привести к моменту T по формуле (2.4), в которой значение хода часов ω может быть определено, если радиосигналы времени приняты два раза: до и после астрономических наблюдений.

Обозначим поправку часов, определенную по астрономическим наблюдениям, через u_2 и воспользуемся для определения долготы места известным положением: разность долгот равна разности местных времен, т. е.

$$\lambda_2 - \lambda_1 = (T + u_2) - (T + u_1) = u_2 - u_1,$$

где λ_2 — искомая долгота, а λ_1 — долгота меридиана, по времени которого передаются радиосигналы.

Пример. Радиосигналы времени, передаваемые в 12^h по времени III часового пояса, были приняты в $11^h58^m18^s$ по часам наблюдателя. Поправка часов u_2, определенная по астрономическим наблюдениям в 14^h28^m по тем же часам, оказалась равной $+1^h16^m30^s$. Часовой ход наблюдателя $\omega = -0^s{,}4$. Определить долготу места наблюдения.

Поправка часов в момент 14^h28^m относительно меридиана с долготой, равной 3^h, равна

$$u_1 = +1^m42^s - 0^s{,}4 \cdot 2{,}5 = +1^m41^s.$$

Долгота места наблюдения равна

$$\lambda = 3^h00^m + 1^h16^m30^s - 1^m41^s = 4^h14^m49^s.$$

ДОБАВЛЕНИЕ К ГЛАВАМ I и II

Приближенное решение некоторых задач сферической и практической астрономии с помощью стереографической сетки

Стереографическая сетка (см. приложение V) представляет собой проекцию меридианов и параллелей сферической поверхности на плоскость одного из ее меридианов, называемого в этом случае основным. Центром проекции является точка экватора сферы, удаленная от основного меридиана на 90°. Меридианы и параллели проведены через каждые 2°.

Стереографическая проекция обладает тем важным свойством, что дуга любого круга на сфере изображается в этой проекции также дугой круга. Одна и та же стереографическая сетка может изображать оба полушария сферы.

Для определенности на сетке вводятся следующие названия: окружность сетки ($P_1Q_2P_2Q_1$) называется ее *основным меридианом*, точки, в которых сходятся все меридианы сетки, называются *полюсами сетки* P_1 и P_2; диаметр P_1P_2, проходящий через полюсы сетки, называется ее *осью*; диаметр Q_1Q_2, перпендикулярный к оси сетки, называется *экватором сетки.*

Стереографическая сетка позволяет весьма просто и быстро решать целый ряд задач сферической и практической астрономии, геодезии и картографии, если решение этих задач может ограничиться точностью в 0°,5—1°, что часто на практике бывает вполне достаточным.

В зависимости от характера поставленной задачи плоскость основного меридиана стереографической сетки может изображать собой плоскость различных кругов небесной сферы. Так, в одном случае она может изображать плоскость небесного меридиана; тогда экватор сетки будет изображать проекцию истинного горизонта, ось сетки — отвесную линию и проекцию первого вертикала, полюсы сетки изобразят зенит и надир; точки востока и запада совпадут с центром сетки, отмеченным четырьмя точками; точки юга и севера будут лежать на пересечении экватора сетки с ее основным меридианом.

В другом случае основной меридиан сетки может тоже изображать небесный меридиан, но ее экватор может служить небесным экватором; тогда полюсы сетки явятся полюсами мира,

ее ось — осью мира, а точки юга и севера будут отстоять от небесного экватора на расстоянии 90° — φ, где φ — географическая широта места наблюдения.

Можно представить себе основной меридиан выполняющим роль истинного или математического горизонта. Тогда зенит и надир спроектируются в центр сетки, а точки юга, востока, севера и запада — в концевые точки оси и экватора сетки. В этом случае полюс мира будет лежать на расстоянии, равном 90° — φ от центра сетки.

Возможны проекции и на плоскость других больших кругов небесной сферы.

При графическом решении задач с помощью стереографической сетки все необходимые построения делаются не на самой сетке, а на листе кальки или прозрачной бумаги. Лучше всего начертить на кальке окружность радиусом, равным радиусу сетки, и нанести на ней центр окружности и два взаимно-перпендикулярных диаметра. В дальнейшем такую скопированную окружность будем называть «калькой». Для определенности полезно один из проведенных диаметров окружности назвать диаметром кальки (R_1R_2), другой—осью кальки ($\Pi_1\Pi_2$), а концевые точки оси — полюсами кальки (Π_1 и Π_2).

Приведем ряд примеров на применение стереографической сетки в астрономии, часть которых взята из брошюры проф. Г. В. Вульфа *). На всех рисунках, иллюстрирующих применение стереографической сетки, жирными и прерывистыми линиями показаны построения на кальке, а тонкими — просвечивающие сквозь кальку круги стереографической сетки (меридианы и параллели), которые на рисунках показываются далеко не все, а только необходимые для иллюстрации данной задачи.

1. *Определение углового расстояния между двумя точками с заданными сферическими координатами.* Данная задача постоянно решается при определении угловых расстояний между звездами и между точками земной поверхности, в частности, при прокладке курса кораблей и самолетов. Наикратчайшим расстоянием между двумя точками сферы является дуга большого круга, проходящего через эти точки, которая на земной поверхности называется *ортодромией* и строится по географическим координатам пунктов отправления $B(\lambda_1, \varphi_1)$ и назначения $C(\lambda_2, \varphi_2)$ корабля (самолета).

Примем полюс P_1 стереографической сетки за северный географический полюс Земли, а экватор Q_1Q_2 сетки — за земной экватор. Тогда все большие круги сетки изобразят географические меридианы, а все параллели сетки — земные параллели. Наложим кальку на сетку так, чтобы их полюсы Π_1 и P_1 и экваторы R_1R_2 и Q_1Q_2 соответственно совместились (рис. 59), и от

*) Г. В. Вульф, Способ графического решения задач по космографии и математической географии, Нижний Новгород, 1909.

точки Q_1 экватора отложим по окружности дугу φ_1, равную географической широте первого пункта B земной поверхности. При $\varphi_1 > 0°$ дуга φ_1 откладывается в сторону северного полюса P_1, а при $\varphi_1 < 0°$ — в сторону южного полюса P_2. Далее вычислим в градусной мере разность $\Delta\lambda$ географической долготы λ_1 и λ_2 заданных пунктов B и C так, чтобы

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 < 180° \quad \text{или} \quad \Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 < 180°,$$

и отложим ее по экватору сетки от точки Q_1. Затем по большому кругу сетки, проходящему через конец n дуги $\Delta\lambda$, отложим значение φ_2 географической широты второго пункта C. Повернув кальку вокруг ее центра до совмещения точки B с полюсом

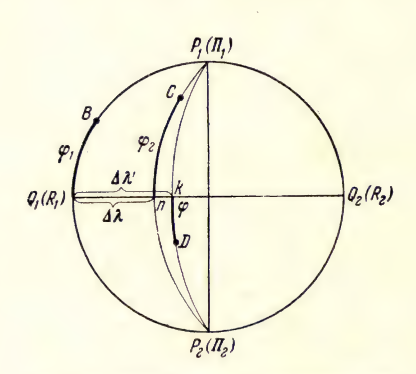


Рис. 59. Использование стереографической сетки для решения задач 1 и 2.

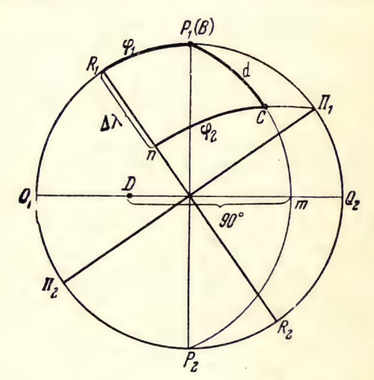


Рис. 60. Использование стереографической сетки для решения задач 1, 2 и 3.

сетки P_1 (рис. 60), измерим в градусах искомое расстояние $d = BC$ по дуге большого круга сетки, проходящего через обе точки B и C.

Подразумевая под φ_1 и φ_2 склонения δ_1 и δ_2 (высоту h_1 и h_2, эклиптическую широту β_1 и β_2, галактическую широту b_1 и b_2) двух звезд B и C, а под λ_1 и λ_2 их прямое восхождение α_1 и α_2 (часовые углы t_1 и t_2, азимуты A_1 и A_2, эклиптическую долготу λ_1 и λ_2, галактическую долготу l_1 и l_2), найдем аналогичным приемом угловое расстояние d между этими звездами.

2. *Определение положения полюсов заданного большого круга.* Пусть требуется определить положение полюсов D и D' большого круга, проходящего через две точки сферы B и C с координатами $B(\lambda_1, \varphi_1)$ и $C(\lambda_2, \varphi_2)$.

Полюсами большого круга называются точки, отстоящие от любой точки этого круга на 90°.

По координатам точек $B(\lambda_1, \varphi_1)$ и $C(\lambda_2, \varphi_2)$ строим на кальке дугу BC (см. задачу 1) и находим точку m пересечения с экватором сетки либо самой дуги BC, либо ее продолжения (см. рис. 60). От точки m откладываем по экватору сетки 90° и

тем самым находим один полюс D большого круга, проходящего через точки B и C. Возвратив кальку в исходное положение, отсчитаем от экватора сетки по ее меридиану, проходящему через полюс D, одну искомую координату $\varphi = kD$ этого полюса, а по экватору сетки — дугу $\Delta\lambda' = Q_1k$ (см. рис. 59), по которой вычисляем другую координату полюса, $\lambda = \lambda_1 + \Delta\lambda'$.

Координаты второго полюса D' равны

$$\lambda' = \lambda + 180° \quad \text{и} \quad \varphi' = -\varphi.$$

3. *Отыскание экватора для заданного полюса.* Экватором какого-нибудь полюса называется большой круг, все точки которого отстоят от полюса на 90°.

Нанесем на кальку заданную точку — полюс D, наложим кальку на стереографическую сетку и повернем ее вокруг центра сетки так, чтобы точка D оказалась на экваторе сетки (см. рис. 60). От этой точки по экватору сетки отложим отрезок (на самом деле являющийся дугой), равный 90°, и скопируем на кальку тот меридиан стереографической сетки, который проходит через конец отложенного отрезка — точку m. Полученная на кальке дуга большого круга P_1CP_2 представляет дугу искомого экватора.

4. *Построение окружности заданного углового радиуса вокруг данной точки.* Если данная точка A лежит на самой окружности кальки (рис. 61), то, поворачивая кальку вокруг центра

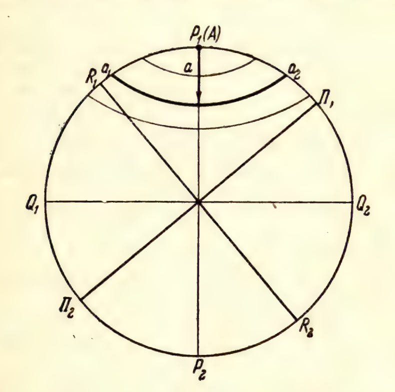


Рис. 61. Использование стереографической сетки для решения первой части задачи 4.

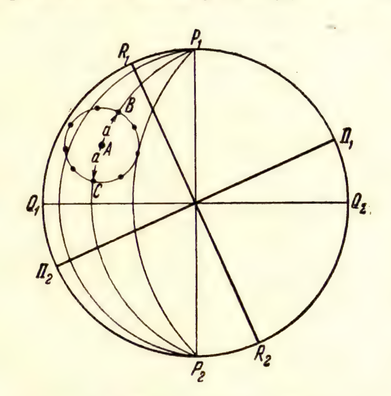


Рис. 62. Использование стереографической сетки для решения второй части задачи 4.

стереографической сетки, совмещаем данную точку A с полюсом P_1 сетки и копируем параллель, проходящую на заданном расстоянии a от полюса. Полученная параллель a_1a_2 будет дугой искомой окружности. Если данная точка A лежит внутри окружности кальки (рис. 62), то, вращая, как и в предыдущем случае, кальку, приводим точку A на какой-либо меридиан сетки, по ко-

торому находим две точки, *B* и *C*, отстоящие от точки *A* на заданном расстоянии *a*. Поворачивая кальку дальше, приводим точку *A* на другой меридиан и снова отмечаем две точки на заданном расстоянии *a* от нее. Повторяя подобную операцию несколько раз, можно получить любое число точек, которые затем соединяются плавной линией и дают искомую окружность заданного радиуса *a*.

5. *Построение сферического треугольника по трем данным точкам на сфере и измерение его сторон и углов.* Нанеся на кальку три заданные точки *A*, *B* и *C* (рис. 63), поворачиваем ее по стереографической сетке так, чтобы две точки, например *A* и *B*, попали на какой-либо меридиан сетки. Скопировав на кальку дугу этого меридиана между точками *A* и *B*, получим одну сторону *c* сферического треугольника, которую измеряем по дуге того же меридиана сетки. Поворачивая кальку дальше, аналогично поступаем с первой и третьей точками (*A* и *C*), а затем со второй и третьей (*B* и *C*). Полученный треугольник *ABC* будет являться стереографической проекцией искомого сферического треугольника.

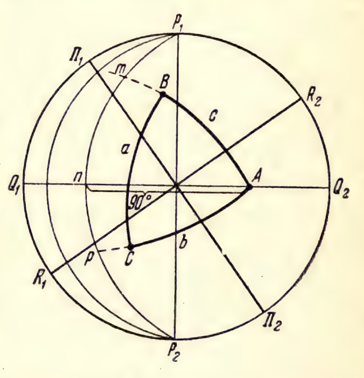


Рис. 63. Использование стереографической сетки для решения задачи 5.

Чтобы измерить углы сферического треугольника, нужно, поворачивая кальку вокруг центра сетки, поместить вершину измеряемого угла *A* на экватор сетки и отсчитать от нее по экватору 90°. Через полученную таким образом точку экватора *n* следует провести дугу меридиана *mnp*, скопировав ее со стереографической сетки. Дуга меридиана проводится до пересечения в точках *m* и *p* со сторонами треугольника *b* и *c*, образующими угол *A*, мерой которого служит дуга *mp*, измеряемая по меридиану сетки. Если при построении дуга меридиана не пересечет стороны треугольника, то сторону следует продлить до пересечения с этой дугой (на рисунке стороны треугольника *b* и *c* продлены до пересечения с дугой *mp* меридиана сетки).

6. *Построение сферического треугольника по трем его сторонам.* Пусть заданы три стороны *a*, *b* и *c* сферического треугольника. Наложив кальку на стереографическую сетку, поместим одну из вершин сферического треугольника (например, вершину *A*) в полюс сетки P_1 (рис. 64) и от нее по окружности кальки отложим заданную величину стороны *b*. Получим другую вершину *C* треугольника; дуга *AC* будет являться его стороной *b*. Затем копируем параллель сетки *mn*, отстоящую от вершины *A* (полюса сетки P_1) на расстоянии, равном второй стороне *c*,

и вращаем кальку вокруг центра сетки до совмещения вершины C с полюсом сетки P_1 (рис. 65). Пользуясь системой меридианов сетки, находим на скопированной параллели mn точку B, отстоящую от вершины C на расстоянии, равном третьей стороне a треугольника. Полученная точка B будет третьей вершиной сферического треугольника. Далее, скопируем дугу CB меридиана, проходящего через вершины C и B; получим третью

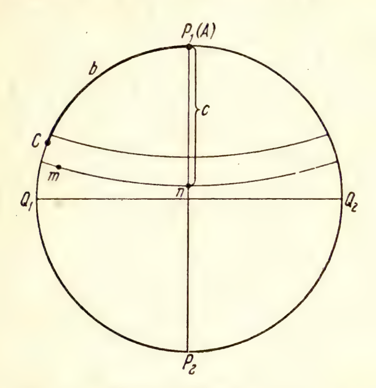


Рис. 64. Использование стереографической сетки для решения задачи 6.

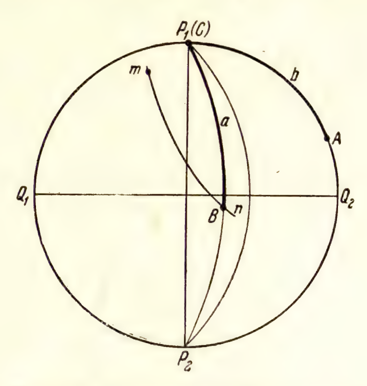


Рис. 65. Использование стереографической сетки для решения задачи 6.

сторону a искомого треугольника. После этого поворотом кальки снова совмещаем вершину A с полюсом P_1 сетки (рис. 66) и копируем дугу AB меридиана, проходящего через вершины A и B: эта дуга является второй стороной c искомого сферического треугольника. Так осуществляется построение сферического треугольника по трем заданным его сторонам a, b и c.

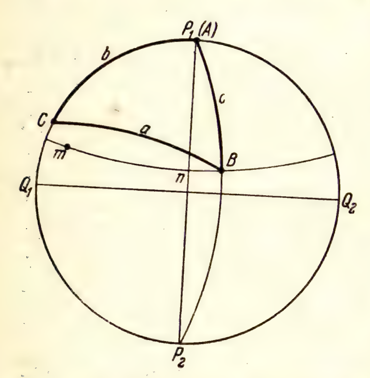


Рис. 66. Использование стереографической сетки для решения задачи 6.

7. *Определение экваториальных координат светила по его горизонтальным координатам.* Задача сводится к определению t и δ светила по его h и A и к вычислению значения звездного времени s в заданный момент T. Значение s вычисляется весьма просто, и мы будем полагать его известным (см. стр. 21).

Координаты t и δ (по h и A) определяются с помощью стереографической сетки следующим образом. Примем основной меридиан сетки за небесный меридиан, ее экватор Q_1Q_2 за истинный горизонт и полюсы P_1 и P_2 за зенит Z_1 и надир Z_2. Тогда меридианы стереографической сетки будут изображать круги

высоты (вертикалы), а ее параллели — круги равных высот (альмукантараты).

Наложим на сетку кальку, совместим ее полюсы $П_1$ и $П_2$ с полюсами сетки P_1 и P_2 (рис. 67), отметим на ней точки севера (N) и юга (S) и, пользуясь просвечивающей сквозь кальку сеткой, отложим от точки юга (S) по истинному горизонту (экватору кальки) значение заданного азимута A. Если $A > 180°$, то нужно откладывать его дополнение до 360°. От полученной на истинном горизонте точке n отложим по кругу высоты (по меридиану сетки), проходящему через эту точку, значение h. При $h > 0°$ его значение откладывается вверх, в сторону P_1 (зенита Z_1), при $h < 0°$ — вниз, в сторону P_2 (надира Z_2). Таким образом, на кальке отметим точку M, изображающую светило с заданными координатами h и A.

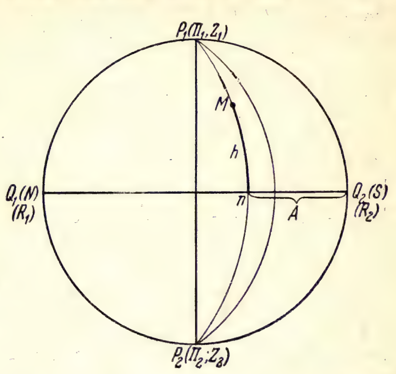


Рис. 67. Использование стереографической сетки для решения задач 7 и 8.

Теперь будем рассматривать сетку как стереографическую проекцию экваториальной системы координат t и δ на плоскость небесного меридиана. В этом случае P_1 и P_2 будут полюсами мира, а экватор сетки Q_1Q_2 — небесным экватором. Так как высота h_p полюса мира над истинным горизонтом (над точкой севера N) равна географической широте места φ, то нужно повернуть кальку вокруг центра сетки по часовой стрелке на угол $90° - \varphi$ (рис. 68). В этом случае полюсы кальки $П_1$ и $П_2$ будут по-прежнему изображать зенит Z_1 и надир Z_2, а полюсы мира P_1 и P_2 будут отстоять от них на угол $90° - \varphi$. Такой же угол будет между истинным горизонтом (экватором кальки) и небесным экватором (экватором сетки).

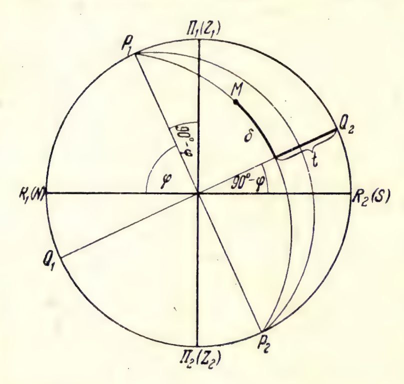


Рис. 68. Использование стереографической сетки для решения задач 7 и 8.

Пользуясь меридианами стереографической сетки как кругами склонения, отсчитаем склонение δ точки M (заданного светила) от небесного экватора и ее часовой угол t от точки Q_2 небесного меридиана по экватору. Если A был более 180°, то и t будет больше 180°, и, следовательно, в этом случае полученное значение t следует вычесть из 360°.

Зная дату и время наблюдения T, определяем звездное время s в данный момент и прямое восхождение светила $\alpha = s - t$.

8. *Определение горизонтальных координат светила по его экваториальным координатам.* Эта задача является обратной предыдущей. На интересующий нас момент времени T вычисляется звездное время s и определяется часовой угол светила $t = s - \alpha$. Значение t выражается в градусной мере.

Рассматривая стереографическую сетку как систему экваториальных координат, принимаем экватор сетки Q_1Q_2 за небесный экватор, накладываем кальку на сетку так, чтобы северный полюс мира P_1 отстоял от точки севера (N) на угол φ, и отмечаем на кальке точку M (светило) с заданными координатами δ и t (см. рис. 68). Повернув кальку против часовой стрелки, совместим ее экватор R_1R_2 с экватором сетки Q_1Q_2. Рассматривая сетку как систему горизонтальных координат, отсчитываем от истинного горизонта NS (экватора сетки Q_1Q_2) по кругу высоты (меридиану сетки), проходящему через точку M, высоту h этой точки. Если точка M находится над истинным горизонтом, то высота $h > 0°$; в противном случае $h < 0°$. Азимут точки M отсчитывается по истинному горизонту NS от точки юга (S) до основания n ее круга высоты (рис. 67). Правило направления отсчета t и A остается прежним (см. задачу 7).

9. *Построение параллактического треугольника.* Параллактический треугольник (см. § 8, гл. I) применяется в астрономии для перевода координат h и A в δ и t (и обратно) аналитическим способом. Графический способ определения δ и t по h и A (и обратное определение) с помощью стереографической сетки описан в задачах 7 и 8 и не требует обязательного построения самого параллактического треугольника.

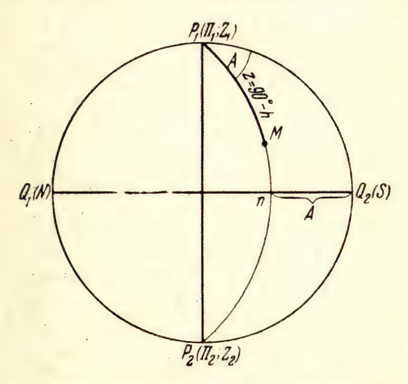


Рис. 69. Использование стереографической сетки для решения задачи 9.

Здесь же рассматривается построение этого треугольника для уяснения его расположения на небесной сфере.

Пусть заданы горизонтальные координаты светила M, высота h и азимут A, для какого-либо места наблюдения с географической широтой φ.

Наложим кальку на стереографическую сетку так, чтобы полюсы Π_1 и Π_2 кальки совпали с полюсами P_1 и P_2 сетки (рис. 69). Рассматривая сетку как горизонтальную систему координат, наметим на кальке точки юга (S) и севера (N) и от точки юга $Q_2(S)$ отложим по экватору сетки (являющемуся в данном случае истинным горизон-

том) дугу, равную A. Найдем тот меридиан сетки (круг высоты), который проходит через конец n дуги азимута, и по нему отложим от зенита $Z_1(П_1; P_1)$ дугу $z = 90° - h$. Конечная точка этой дуги является светилом M. Скопируем на кальку дугу $z = П_1M$ и повернем кальку вокруг центра сетки по часовой стрелке на угол $90° - \varphi$; тогда дуга $(N)P_1 = \varphi$. Дугу $P_1П_1 = 90° - \varphi$ скопируем на кальку (рис. 70).

Рассматривая теперь сетку как экваториальную систему координат, скопируем на кальку дугу P_1M меридиана сетки, являющегося в этом случае кругом склонения. Эта дуга $P_1M = p = 90° - \delta$. Значение p легко измерить по дуге круга склонения, а продлив ее до небесного экватора (экватор сетки Q_1Q_2), можно если это требуется, измерить по экватору часовой угол $t = Q_2m$. Полученный на кальке треугольник $P_1П_1M$ является **параллактическим**.

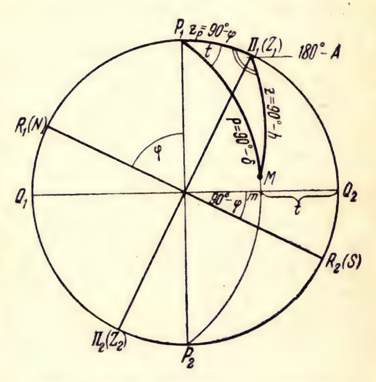


Рис. 70. Использование стереографической сетки для решения задачи 9.

Можно построить параллактический треугольник, исходя из заданных значений φ места наблюдения и t и δ светила. Порядок построения будет обратным только что разъясненному и аналогичен построению, проведенному в задаче 8.

10. *Определение эклиптических координат светила по его экваториальным координатам.* Аналитически переход от α и δ к λ и β осуществляется через сферический треугольник, вершинами которого служат полюс мира, полюс эклиптики и данное светило, а из трех углов два имеют значение соответственно $90° - \lambda$ (при полюсе эклиптики) и $90° + \alpha$ (при полюсе мира) (см. § 8, гл. I).

Определение приближенных значений λ и β по стереографической сетке не требует построения сферического треугольника. Примем основной меридиан сетки за круги склонения с прямым восхождением $\alpha = 90°$ и $\alpha = 270°$; плоскость этих кругов перпендикулярна к линии пересечения плоскости небесного экватора с плоскостью эклиптики (линия узлов небесного экватора). На этой линии узлов лежат точки весеннего (♈) и осеннего (♎) равноденствий, которые в этом случае проектируются в центр стереографической сетки. Примем, что точка весеннего равноденствия ♈ лежит «над центром» сетки; тогда счет прямых восхождений α по небесному экватору и счет эклиптических долгот λ по эклиптике следует вести от центра сетки вправо (до 90°), далее «за сетку» влево (от 90° до 270°) и затем от левой полуокружности основного меридиана (270°) вправо до центра сетки (360°).

Рассматривая стереографическую сетку как экваториальную систему координат, нанесем на кальку точку M с координатами α и δ (рис. 71). Для этого совместим экватор кальки R_1R_2 с экватором сетки Q_1Q_2 (полюсы кальки Π_1 и Π_2 совпадут с полюсами сетки P_1 и P_2) и от центра сетки (точка ♈) отложим по ее экватору Q_1Q_2, изображающему небесный экватор, отрезок, равный заданному прямому восхождению α, выраженному в градусах. Помня правило счета α и λ на сетке, приходим к выводу, что при $\alpha \leqslant 90°$ следует отложить от точки ♈ вправо по экватору отрезок $\alpha' = \alpha$; при $90° < \alpha \leqslant 180°$ от точки ♈ вправо откладывается отрезок $\alpha' = 180° - \alpha$; при $180° < \alpha \leqslant 270°$ отрезок α' откладывается от центра сетки влево, и его величина $\alpha' = \alpha - 180°$; наконец, при значениях $270° < \alpha < 360°$ влево от центра сетки откладывается отрезок $\alpha' = 360° - \alpha$.

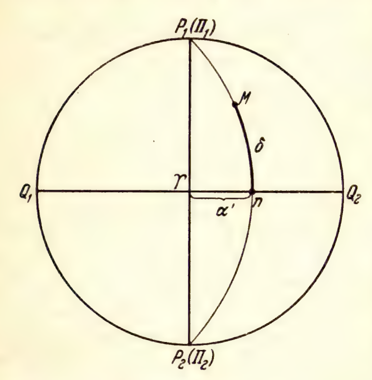


Рис. 71. Использование стереографической сетки для решения задач 10 и 11.

Далее, по меридиану сетки (кругу склонения), проходящему через конец n отложенного отрезка, отсчитываем заданное значение δ и отмечаем на этом круге склонения точку M, которая изобразит светило с координатами α и δ.

После этого повернем кальку по часовой стрелке на угол $\varepsilon = 23°,5$ и будем рассматривать сетку как эклиптическую систему координат. В этом случае экватор сетки Q_1Q_2 изобразит эклиптику, полюсы P_1 и P_2 — полюсы эклиптики, а меридианы сетки — круги широты (рис. 72).

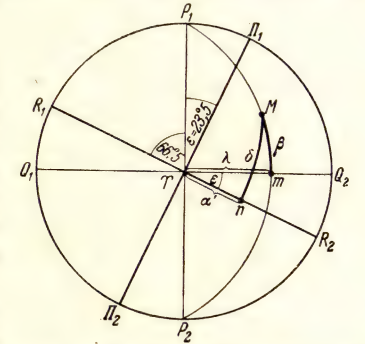


Рис. 72. Использование стереографической сетки для решения задач 10 и 11.

Полюсами мира теперь будут полюсы кальки Π_1 и Π_2, а небесным экватором — экватор кальки R_1R_2.

По кругу широты, проходящему через точку M (светило), определяем ее эклиптическую широту β, а по расстоянию λ' основания m этого круга широты от центра сетки (точки ♈) — эклиптическую долготу λ, причем λ' связано с λ теми же соотношениями, что и α' с α (см. выше).

11. *Определение экваториальных координат светила по его эклиптическим координатам.* Определение экваториальных координат α и δ светила по его эклиптическим координатам λ и β

представляет собой задачу, обратную предыдущей (см. задачу 10).

Калька накладывается на сетку так, чтобы полюс сетки P_1 отстоял от точки R_1 экватора кольки на 66°,5, что соответствует удалению P_1 от Π_1 на 23°,5. Рассматривая экватор сетки Q_1Q_2 как эклиптику, а меридианы сетки как круги широты, наносим на кальку точку M с заданными координатами λ и β, помня при этом, что λ откладывается по тому же правилу, что и α в экваториальной системе координат (см. задачу 10), а β — в зависимости от ее знака (рис. 72).

Поворотом кальки против часовой стрелки на 23°,5 совмещаем экватор кальки с экватором сетки (полюсы Π_1 и Π_2 кальки с полюсами P_1 и P_2 сетки) и, принимая сетку за экваториальную систему координат, отсчитываем от небесного экватора Q_1Q_2 склонение δ, а от точки весеннего равноденствия ♈ (центр сетки) — прямое восхождение α точки M. Значение α лежит в том же квадранте (четверти круга), что и λ (см. задачу 10).

12. *Определение галактических координат светила по его экваториальным координатам.* Перевод экваториальных координат α и δ светила в галактические координаты l и b производится аналитически с помощью сферического треугольника, вершинами которого являются полюс мира, галактический полюс и данное светило (см. § 8, гл. I). Стереографическая сетка позволяет осуществить перевод α и δ в l и b (и обратно) без построения самого треугольника и вычисления его сторон.

При переходе от одной системы координат к другой следует помнить о существенном отличии в отсчете прямого восхождения α и галактической долготы l (см. § 3, гл. I).

Примем стереографическую сетку за экваториальную систему координат (см. задачу 10) с той лишь разницей, что центр сетки будет изображать не точку весеннего равноденствия ♈, а восходящий узел ☊ галактического экватора с $\alpha_0 = 282°$ и $\delta_0 = 0°$ (см. § 8, гл. I). В этом случае основной меридиан стереографической сетки изобразит круги склонения с $\alpha = 12°$ (правая дуга основного меридиана) и $\alpha = 192°$ (левая дуга основного меридиана), на которых лежат галактические полюсы. Точка весеннего равноденствия ♈ будет лежать уже не в центре сетки, а на ее экваторе, на расстоянии 78° вправо от центра (☊).

Наложим кальку на стереографическую сетку так, чтобы полюсы кальки Π_1 и Π_2 отстояли от точек Q_1 и Q_2 экватора сетки на 27°,5. Тогда точки Π_1 и Π_2 будут соответственно северным и южным галактическими полюсами, а экватор кальки R_1R_2 изобразит галактический экватор, наклоненный к небесному экватору под углом 62°,5 (рис. 73). Помня, что экватор Q_1Q_2 стереографической сетки изображает в данном случае небесный экватор, а полюсы P_1 и P_2 сетки — полюсы мира, нанесем на кальку точку M (светило) по его заданным экваториальным координатам α и δ. Прямое восхождение α следует откладывать

не от центра сетки, а от точки Υ, отстоящей от центра вправо на 78°, причем если $\alpha \leqslant 12°$, то его нужно откладывать вправо от точки Υ; если $12° < \alpha \leqslant 192°$, то первые 12° откладываются вправо от Υ (до точки Q_2 экватора), а оставшаяся разность $\alpha' = \alpha - 12°$ — по экватору влево от точки Q_2; если же $\alpha > 192°$, то по экватору откладывается аргумент $\alpha' = 360° - \alpha$, но уже влево от Υ. Склонение δ откладывается так же, как и в задаче 10.

Нанеся точку M с экваториальными координатами α и δ, поворачиваем кальку по часовой стрелке на угол 62°,5, т. е. до совмещения полюсов кальки Π_1 и Π_2 с полюсами сетки P_1 и P_2,

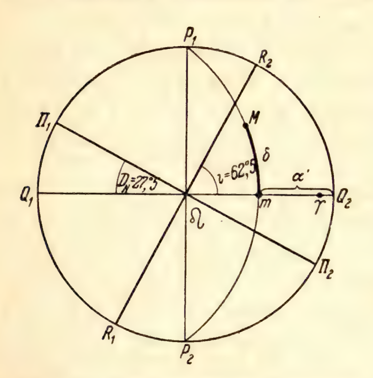


Рис. 73. Использование стереографической сетки для решения задачи 12.

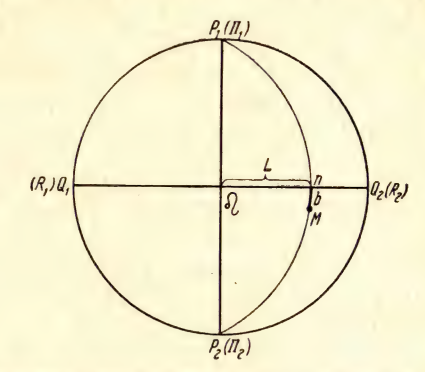


Рис. 74. Использование стереографической сетки для решения задач 12 и 13.

а экватора кальки R_1R_2 с экватором сетки Q_1 Q_2 (рис. 74). Теперь следует рассматривать стереографическую сетку как систему галактических координат, в которой круги галактической широты изобразятся меридианами сетки.

По кругу галактической широты, проходящему через светило M, отсчитывается от галактического экватора Q_1Q_2 галактическая широта b светила, а от восходящего узла ☊ галактического экватора (центра сетки) до основания n круга широты светила отсчитывается аргумент L, заменяющий галактическую долготу. При определении самой долготы необходимо помнить, что светило M, в зависимости от его α, может мыслиться как «перед», так и «за» сеткой, а по аргументу L, отсчитываемому от узла ☊, отыскивается галактическая долгота l' в старой системе галактических координат. Поэтому если $0° \leqslant \alpha \leqslant 12°$ или $282° < \alpha \leqslant 360°$, то L отсчитывается по экватору сетки вправо от ее центра (☊) и тогда $l' = L$; при $12° < \alpha < 102°$ аргумент L отсчитывается тоже вправо от центра сетки, но $l' = 180° - L$; при $102° < \alpha \leqslant 192°$ аргумент L отсчитывается влево от центра сетки и $l' = 180° + L$; наконец, при $192° < \alpha < 282°$ аргумент L отсчитывается тоже влево от центра сетки, но $l' = 360° - L$.

После определения l' находят l, причем во всех перечисленных случаях $l = l' + 33°,0$ (см. § 8, гл. I).

13. *Определение экваториальных координат светила по его галактическим координатам.* Преобразование галактических координат светила l и b в экваториальные координаты α и δ производится в последовательности, обратной той, которая рассмотрена в задаче 12. Сначала вычисляют $l' = l - 33°,0$. Затем накладывают кальку на стереографическую сетку (см. рис. 74), совмещая их полюсы и экваторы, и на нее наносят точку M с координатами l' и b, учитывая замечания о связи l' с аргументом L (см. задачу 12). Это означает, что при $0° < l' \leqslant 90°$ по экватору сетки вправо от ее центра (☊) откладывается аргумент $L = l'$; при $90° < l' \leqslant 180°$ вправо от центра сетки по ее экватору откладывается аргумент $L = 180° - l'$; при $180° < l' \leqslant 270°$ аргумент $L = l' - 180°$ откладывается по экватору сетки влево от ее центра; наконец, при $270° < l' < 360°$ влево от центра сетки откладывается аргумент $L = 360° - l'$. Далее на меридиане сетки, проходящем через конец n отложенной дуги L и представляющем круг галактической широты, отмечается точка M, отстоящая от экватора сетки на величину b. Затем калька поворачивается против часовой стрелки на угол 62°,5; в этом случае галактические полюсы Π_1 и Π_2 будут отстоять от точек Q_1 и Q_2 экватора сетки на 27°,5 (рис. 75).

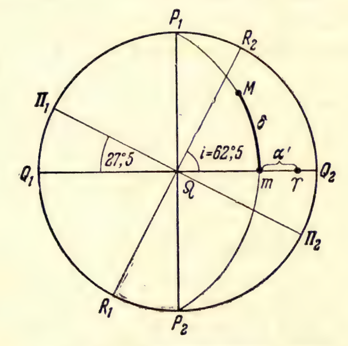


Рис. 75. Использование стереографической сетки для решения задачи 13.

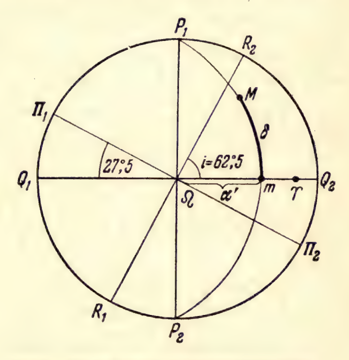


Рис. 76. Использование стереографической сетки для решения задачи 13.

Рассматривая стереографическую сетку как экваториальную систему координат с небесным экватором Q_1Q_2 и полюсами мира P_1 и P_2, отсчитывают по меридиану сетки (кругу склонения), проходящему через точку M, склонение δ этой точки, а по положению основания m ее круга склонения — прямое восхождение α светила. Поскольку точка весеннего равноденствия ♈ лежит не в центре сетки, а отстоит от него вправо на 78°, значение α может быть получено либо отсчетом от ♈, либо отсчетом от центра сетки (☊). В первом способе (отсчет от ♈) определяется

дуга $\alpha' = m\Upsilon$ (см. рис. 76). Тогда при $0° < l' \leqslant 90°$ искомое $\alpha = 360° - \alpha'$ (если точка m лежит левее Υ) или $\alpha = \alpha'$ (если точка m лежит правее Υ); при $90° < l' \leqslant 270°$ значение $\alpha = 24° + \alpha'$ (точка m лежит левее Υ) и $\alpha = 24° - \alpha'$ (точка m лежит правее Υ); при $270° < l' < 360°$ всегда $\alpha = 360° - \alpha'$.

Во втором способе отсчета (отсчет от центра сетки Ω) определяется дуга $\alpha' = \Omega m$ (рис. 75). Тогда при $0° < l' \leqslant 90°$ $\alpha = 282° + \alpha'$; при $90° < l' \leqslant 180°$ $\alpha = 102° - \alpha'$; при $180° < l' \leqslant 270°$ $\alpha = 102° + \alpha'$ и при $270° < l' < 360°$ $\alpha = 282° - \alpha'$.

14. *Определение азимута и часового угла светила в момент его восхода и захода.* В момент восхода и захода светило находится на истинном горизонте и точки его восхода и захода расположены симметрично относительно плоскости небесного меридиана. Следовательно, часовой угол точки восхода $t_в = -t_з$, где $t_з$ — часовой угол захода; точно так же азимут точки восхода $A_в = -A_з$. Значения $t_в(t_з)$ и $A_в(A_з)$ зависят от географической широты места наблюдения φ и склонения светила δ.

Примем стереографическую сетку за систему экваториальных координат, наложим на нее кальку так, чтобы ее полюсы совпали с полюсами сетки, и скопируем на кальку параллель сетки, отстоящую от ее экватора на величину δ светила (рис. 77).

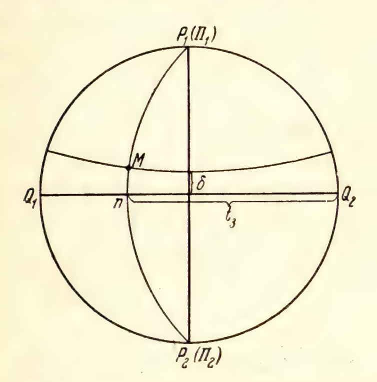


Рис. 77. Использование стереографической сетки для решения задачи 14.

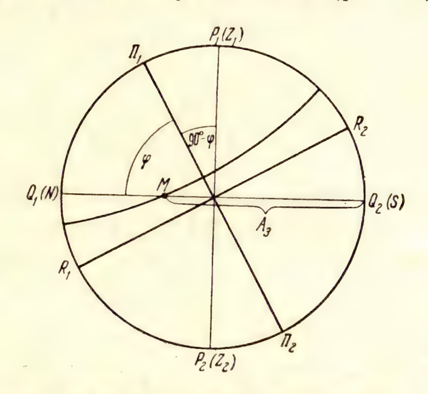


Рис. 78. Использование стереографической сетки для решения задачи 14.

Повернув кальку вокруг центра сетки против часовой стрелки на угол $90° - \varphi$, будем рассматривать сетку как систему горизонтальных координат. У концов экватора сетки на кальке поставим обозначения точек юга (S) и севера (N). Точка M пересечения скопированной параллели с экватором Q_1Q_2 сетки (в данном случае истинным горизонтом) является точкой захода светила, азимут которой $A_з$ отсчитывается непосредственно по экватору сетки от точки юга Q_2 (S) (рис. 78). Возвратив кальку в прежнее положение (рис. 77), скопируем меридиан сетки, проходящий через точку M, доведя его до точки n эква-

тора сетки (в данном случае небесного экватора), по которому от точки Q_2 отсчитываем часовой угол $t_з$.

Значения $t_в$ и $A_в$ определятся как $t_в = 360° - t_з$ и $A_в = 360° - A_з$.

15. *Определение продолжительности гражданских и астрономических сумерек.* Продолжительность сумерек τ (см. § 14, гл. I) для любого дня года может быть легко получена с помощью стереографической сетки. Наложим кальку на сетку и совместим их экваторы и полюсы. Принимая сетку за экваториальную систему координат, скопируем на кальку параллель сетки (в данном случае небесную параллель), отстоящую от ее экватора на величину склонения Солнца $\delta_{\odot}$ в данный день (рис. 79). Повернув кальку против часовой стрелки на угол

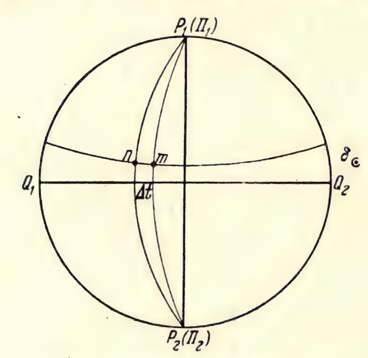


Рис. 79. Использование стереографической сетки для решения задачи 15.

Рис. 80. Использование стереографической сетки для решения задачи 15.

$90° - \varphi$ (рис. 80) и рассматривая сетку как горизонтальную систему координат, отметим на скопированной небесной параллели две точки: точку m ее пересечения с истинным горизонтом и точку n, находящуюся под горизонтом на глубине $h_{\odot}$ погружения центра Солнца под горизонт. Для окончания гражданских сумерек $h_{\odot} = -6°$, а для окончания астрономических сумерек $h_{\odot} = -18°$. Возвратив кальку в прежнее положение (рис. 79), проведем на ней через отмеченные точки m и n круги склонения до пересечения с небесным экватором. Измерив по экватору расстояние Δt между этими кругами, можно вычислить продолжительность сумерек τ в минутах времени. В самом деле, Δt представляет собой приращение часового угла Солнца от момента захода Солнца до момента его погружения под горизонт на требуемую величину $h_{\odot}$. Поэтому достаточно выразить Δt в единицах времени, чтобы получить продолжительность сумерек τ. Поскольку Δt по стереографической сетке определяется в градусах, то $\tau = 4^m \cdot \Delta t$, так как $1° = 4^m$.

Более точное значение Δt, а следовательно, и τ может быть получено при учете величины углового радиуса солнечного

диска и средней рефракции. Моментом захода Солнца считается момент исчезновения за горизонтом верхнего края Солнца, а для этого зенитное расстояние центра Солнца должно быть равно $z_{\odot} = 90° + r_{\odot} + \rho$, где $r_{\odot}$ — угловой радиус солнечного диска, а ρ — средняя рефракция в горизонте. Принимая $r_{\odot} = 16'$ и $\rho = 35'$, получим $z_{\odot} = 90° 51'$, т. е. в пределах точности отсчетов по стереографической сетке $z_{\odot} = 91°$.

Отсюда следует, что при более точном определении τ нужно на небесной параллели отмечать не точку m ее пересечения с истинным горизонтом, а точку m', находящуюся под горизонтом на 1°, и определять Δt между ней и второй точкой n небесной параллели, отмечаемой указанным выше способом.

Разность в определении τ с учетом $r_{\odot}$ и ρ и без учета этих величин может составить 12^{m}.

16. *Определение площади фигуры на небесной сфере.* Площадь той или иной фигуры на небесной сфере (например, площадь созвездия) выражается в квадратных градусах (град²). Чтобы определить площадь фигуры, нужно наложить кальку на стереографическую сетку и, пользуясь просвечивающими сквозь кальку кругами сетки, изобразить эту фигуру на кальке. Если такой фигурой является созвездие, то оно изображается по своим границам, проходящим по кругам склонения и небесным параллелям. После изображения фигуры подсчитывается число клеточек, умещающихся на ее поверхности (внутри ее контура). Каждая клеточка имеет площадь, зависящую от ее удаления Δ от экватора. Площади S этих клеточек, выраженные в кв. град., даются в табл. XI.

Таблица XI

Δ	S кв. град.	Δ	S кв. град.	Δ	S кв. град.	Δ	S кв. град.	Δ	S кв. град.
0°		16°		32°		48°		64°	
	4,005		3,841		3,348		2,626		1,707
2		18		34		50		66	
	4,005		3,775		3,283		2,528		1,576
4		20		36		52		68	
	4,005		3,742		3,184		2,396		1,313
6		22		38		54		70	
	3,972		3,677		3,119		2,265		1,169
8		24		40		56		72	
	3,956		3,611		3,020		2,167		1,103
10		26		42		58		74	
	3,939		3,578		2,922		2,068		1,037
12		28		44		60		76	
	3,906		3,513		2,823		1,937		0,899
14		30		46		62		78	
	3,874		3,447		2,725		1,806		0,768
16°		32°		48°		64°		80°	

Глава III

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ АСТРОФИЗИКИ

§ 1. Некоторые сведения по фотометрии

Слово *фотометрия* означает «измерение света». С помощью фотометрического метода можно измерить интенсивность света, приходящего к нам от любого источника лучистой энергии, в том числе и от небесных тел.

Фотометрия обычно подразделяется на *точечную* и *поверхностную*. Точечная фотометрия занимается измерением *блеска* звезд и других точечных источников света (астероидов, спутников планет, ядер комет, искусственных спутников Земли, а также планет, рассматриваемых без телескопа). Поверхностная фотометрия изучает *яркость* светящихся или освещенных поверхностей, например поверхности Солнца, Луны, планет, комет, туманностей.

Основной величиной в фотометрии является *световой поток — количество световой энергии, протекающей через данную площадку в единицу времени*. Понятие световой энергии означает здесь лучистую энергию, ощущаемую человеческим глазом или иным заменяющим его приемником радиации (фотопластинкой, фотоэлементом). Таким образом, световой поток представляет собой часть общего *лучистого потока*, образованного радиацией всех длин волн, испускаемых данным источником.

Поскольку глаз, фотопластинка и фотоэлемент воспринимают излучение разных длин волн в различной степени и в ограниченном диапазоне, они называются *селективными* приемниками радиации. *Неселективными* приемниками являются *термоэлемент*, *радиометр*, *болометр*, *актинометр* и *пиргелиометр*. Отсюда ясно, что световой поток характеризует мощность лучистого потока, оцененную с помощью селективного приемника радиации.

Каждому селективному приемнику радиации соответствует определенная *фотометрическая система*, зависящая от его свойств воспринимать излучение тех или иных длин волн (о фотометрических системах см. § 4, гл. III).

Представим себе (рис. 81) точечный источник света O, излучающий по всем направлениям равномерно. Построим конус с вершиной в точке O и опишем вокруг этой точки сферу произвольного радиуса L, на которой конус вырежет площадку s.

Тогда внутри конуса будет заключен *телесный угол* ω, равный

$$\omega = \frac{s}{L^2}. \tag{3.1}$$

Если внутри конуса распространяется световой поток Φ, то величина

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \tag{3.2}$$

называется *силой света* источника. Таким образом, *сила света есть отношение светового потока к телесному углу, в котором он распространяется.*

Понятие силы света хорошо известно в быту (сила света электрической лампочки). Единицей силы света является *международная свеча*, основанная на эталонных лампах накаливания. Единицей светового потока является *люмен.* 1 люмен (*лм*) — это поток, который создает источник силой света в 1 международную свечу (*м·св*) в телесном угле в 1 стерадиан *).

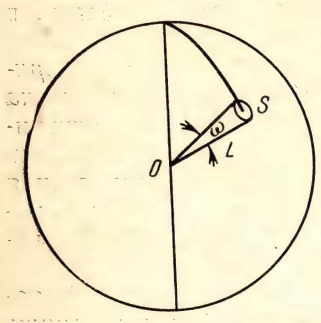


Рис. 81. К определению светового потока.

Если световой поток Φ падает на некоторую площадку *s*, то величина

$$E = \frac{\Phi}{s} \tag{3.3}$$

называется *освещенностью* площадки. *Освещенность есть отношение светового потока к площади освещаемой поверхности.* Между освещенностью и силой света источника имеет место соотношение

$$E = \frac{I}{L^2} \cos i, \tag{3.4}$$

где i — угол падения лучей, т. е. угол, образуемый падающим лучом с нормалью к поверхности.

Единицей освещенности является *люкс* (*лк*), соответствующий освещенности, при которой на 1 $м^2$ приходится световой поток в 1 люмен. Существует еще единица *фот*, соответствующая потоку в 1 люмен на 1 $см^2$. 1 фот равен 10 000 люксов.

Освещенность поверхности, перпендикулярной к падающим лучам, определяет *блеск* источника света. Блеск обычно тоже обозначается буквой E, но мы, в отличие от освещенности, вообще будем обозначать его E'. Очевидно, что

$$E' = \frac{I}{L^2}. \tag{3.4a}$$

---

*) Стерадиан (*стерад*) — единица телесного угла, равная $\frac{1}{4\pi}$ сферы. Стерадиан содержит 3283 квадратных градуса.

Хотя блеск, как и освещенность, можно было бы выражать в люксах, в астрономии это не принято, и вместо этого вводится понятие *звездной величины* m светящегося объекта, которая связана с блеском логарифмическим соотношением

$$m = m_0 - 2{,}5 \lg E', \tag{3.5}$$

где m_0 — звездная величина, соответствующая 1 люксу. Для гарвардской системы звездных величин $m_0 = -13{,}89$ (звездная величина 1 люкса).

Блеск является основной фотометрической характеристикой точечных источников света (звезд, астероидов и др.), хотя понятие блеска можно распространить и на протяженные объекты (Солнце, Луну и т. д.). До установления правильной фотометрической терминологии блеск звезд неправильно называли «яркостью», а блеск протяженных источников света — интегральной яркостью. Эти выражения и сейчас еще встречаются в популярной и даже в специальной литературе, хотя ничего общего с фотометрическим понятием яркости они не имеют.

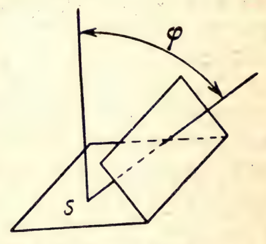


Рис. 82. Закон Ламберта.

Представим себе теперь (рис. 82) некоторую светящуюся поверхность, из которой выделим площадку s. Будем наблюдать ее по направлению, составляющему угол φ с нормалью к площадке. Тогда проекция площадки s на картинную плоскость (нормальную к направлению луча зрения) будет равна $s \cos \varphi$. Сила света площадки в направлении луча зрения будет равна

$$I = Bs \cos \varphi,$$

где величина

$$B = \frac{I}{s \cos \varphi} \tag{3.6}$$

называется *яркостью* поверхности для данного направления. Таким образом, *яркость есть отношение силы света* некоторой поверхности *к проекции светящейся поверхности на плоскость, нормальную к направлению луча зрения*. Очевидно, что понятие яркости может быть применено лишь к протяженным объектам, и совершенно бессмысленно говорить о «яркости» звезд, не имеющих видимых дисков (для них $s = 0$ и выражение (3.6) теряет смысл).

Можно дать другое определение яркости, часто более удобное. Именно, из формул (3.4а) и (3.6) следует:

$$E' = \frac{I}{L^2} = B\frac{s \cos \varphi}{L^2} = B\omega,$$

где ω — телесный угол, под которым из данной точки видна проекция площадки s на картинную плоскость наблюдателя.

Отсюда

$$B = \frac{E'}{\omega}. \qquad (3.7)$$

Это означает, что *яркостью называется отношение блеска элемента светящейся поверхности в точке наблюдения к телесному углу, под которым этот элемент виден из данной точки.* Более развернутое определение получится, если мы вместо термина «блеск» подставим его определение через освещенность, данное выше.

Формула (3.7) дает очень важное соотношение между блеском и яркостью. Кроме того, из формул (3.6) и (3.7) следует, что яркость светящейся поверхности не зависит от расстояния до нее, в то время как освещенность и блеск изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния (формулы (3.4) и (3.4а)).

Если яркость поверхности не зависит и от направления, по которому она наблюдается, то такая поверхность называется *ортотропной.* Обозначив $I_0 = Bs$, получим из формулы (3.6) для ортотропной поверхности

$$I = I_0 \cos\varphi. \qquad (3.8)$$

Это закон косинусов или закон Ламберта.

Единицей яркости является *стильб* (*сб*) — яркость поверхности, один квадратный сантиметр площади проекции которой имеет силу света в 1 международную свечу. Существуют еще единицы: *ламберт* (*лб*), представляющий собой яркость абсолютно белой поверхности, освещенность которой равна 1 фоту, и *апостильб* (*асб*) — яркость той же поверхности при освещенности в 1 люкс. Соотношение между этими единицами следующее:

$$1\ сб = \pi\ лб = 10\,000\ \pi\ асб.$$

Кроме указанных единиц, яркость в астрономии иногда выражают в звездных величинах с квадратного градуса или с квадратной минуты дуги. Чтобы перевести такие единицы в стильбы, логарифмируем формулу (3.7), подставив в нее E' из формулы (3.5). Получим

$$\lg B = 0{,}4\,(m_0 - m) - \lg\omega. \qquad (3.9)$$

Подставляя значения m_0 и ω, получим (B — в стильбах):

$$\left.\begin{aligned} \lg B &= -1{,}55 - 0{,}4m \text{ (зв. вел. с кв. градуса)}, \\ \lg B &= 2{,}01 - 0{,}4m \text{ (зв. вел. с кв. мин. дуги)}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.10)$$

Для самосветящихся поверхностей существует еще понятие *светимости. Светимость R равна световому потоку, испускаемому*

единицей светящейся поверхности. Иначе говоря,

$$R = \frac{\Phi}{s}. \tag{3.11}$$

Между светимостью и яркостью ортотропной поверхности существует простое соотношение $R = \pi B$, откуда следует, что яркость абсолютно белой поверхности ($R = E$) равна

$$B = \frac{E}{\pi}. \tag{3.12}$$

Отсюда и вытекают приведенные выше соотношения между стильбом, ламбертом и апостильбом.

Несколько особое положение среди астрономических объектов, с точки зрения фотометрии, занимают метеоры. Они не являются ни точечными, ни протяженными объектами, а представляются глазу в виде линии, имеющей длину, но не имеющей ширины (за исключением ярких болидов). Регистрируя звездную величину метеоров, мы оцениваем их блеск, т. е. мгновенную освещенность, создаваемую метеором на плоскости, перпендикулярной к лучу зрения. Поэтому и в отношении метеоров следует употреблять термин блеск, а не «яркость».

При изучении свойств отражающих свет матовых поверхностей или небесных тел, отражающих солнечный свет (планет), широкое применение находит понятие *альбедо.* Можно по-разному ввести это понятие, характеризующее отражательные свойства поверхности и, в частности, поверхности небесного тела. Однако следует отличать отражательные свойства плоской поверхности и шарообразного небесного тела.

Для плоской матовой поверхности отражательная способность определяется следующими характеристиками:

1. Истинное альбедо (альбедо по Ламберту) A — отношение светового потока, рассеянного элементом поверхности во всех направлениях, к потоку, упавшему на этот элемент. Для абсолютно белой поверхности $A = 1$.

2. Коэффициент яркости r — отношение яркости поверхности в данном направлении к ее освещенности

$$r = \frac{B}{E}. \tag{3.13}$$

Из формулы (3.12) следует, что для абсолютно белой поверхности $r = \frac{1}{\pi} = 0{,}318$. Если поверхность ортотропна, то для нее $A = \pi r$ в противном случае r меняется с направлением.

3. Видимое альбедо (яркостный фактор) $A_в$ — отношение яркости поверхности для данного направления (B) к яркости абсолютно белой поверхности, расположенной в том же

месте, но перпендикулярно к падающим лучам ($B_а$):

$$A_в = \frac{B}{B_а} = \pi\mathfrak{r}\cos i, \tag{3.14}$$

где i — угол падения лучей. Для ортотропной поверхности $A_в = A\cos i$. В случае неортотропной поверхности произведение $\pi\mathfrak{r} = r$ не равно A и обозначается специальным термином *светлота*. Таким образом, для любой поверхности $A_в = r\cos i$. Видимое альбедо — величина, непосредственно получаемая из фотометрических наблюдений планет.

Фотометрические свойства шарообразного небесного тела, освещенного извне (например, планеты), характеризуются тремя видами альбедо:

а) *Геометрическое альбедо* $A_г$ — отношение средней яркости диска планеты при полной фазе ($B_{ср}$) к яркости абсолютно белой поверхности, помещенной в той же точке и перпендикулярной к солнечным лучам ($B_а$):

$$A_г = \frac{B_{ср}}{B_а} = \frac{E_п}{E_\odot}\frac{\Delta^2 L^2}{\Delta_\odot^2 R^2}, \tag{3.15}$$

где $E_п$ — блеск планеты при полной фазе на расстоянии L от Солнца и Δ от Земли, $E_\odot$ — блеск Солнца с расстояния $\Delta_\odot$, R — радиус планеты.

Геометрическое альбедо легко определяется из наблюдений, если известен радиус планеты, но его нельзя сравнивать с истинным альбедо или светлотой земных образцов, так как в его определение входит средняя яркость разных точек диска, находящихся к тому же в различных условиях освещения.

б) *Иллюстративное альбедо* $A_и$ — отношение средней яркости диска планеты при полной фазе к средней яркости абсолютно белой планеты того же размера, находящейся в таких же условиях освещения ($B_{а\,ср}$):

$$A_и = \frac{B_{ср}}{B_{а\,ср}} = \frac{E_п}{E_а}, \tag{3.16}$$

где $E_а$ — блеск воображаемой абсолютно белой планеты. Для ортотропной поверхности $A_и = A = r$, поэтому иллюстративное альбедо можно сравнивать с A и r земных образцов. С геометрическим альбедо иллюстративное альбедо связано простым соотношением $A_и = \frac{3}{2}A_г$.

в) *Сферическим альбедо* (по Бонду) $A_с$ называется отношение светового потока, рассеянного планетой по всем направлениям, к световому потоку, упавшему на ее поверхность,

$$A_с = \frac{\Phi}{\Phi_0}. \tag{3.17}$$

Для ортотропной поверхности $A_с = A_и = A = r$. Для неортотропной поверхности $A_с = qA_г$, где q — *фазовый интеграл*, значение которого определяется по кривой изменения блеска планеты с фазой. Поскольку поверхности планет, вообще говоря, не являются ортотропными, а внешние планеты не наблюдаются при всех значениях угла фазы, для планет, начиная от Юпитера, сферическое альбедо, строго говоря, неизвестно. Значения сферического альбедо для планет см. в табл. 5б отдела «Таблицы».

Все альбедо и другие названные характеристики изменяются с длиной волны. В таблице приведены их значения в международной фотовизуальной фотометрической системе.

Приемники излучения непосредственно регистрируют следующие фотометрические величины: глаз — яркость и блеск, фотопластинка — освещенность, фотоэлемент — световой поток.

Соответственно применяемому приемнику излучения фотометрия разделяется на *визуальную*, *фотографическую* и *фотоэлектрическую*. Если изучается лишь отношение яркости или блеска светила к яркости или блеску другого светила или лабораторного источника и результаты выражаются в относительных единицах, то такая фотометрия называется *относительной*. Если же тем или иным путем можно получить значения измеряемых величин в абсолютных единицах, то в этом случае фотометрия называется *абсолютной*.

§ 2. Понятие о спектре

Высокая температура и давление в звездных недрах приводят к тому, что в них вырабатывается *лучистая энергия*. При формировании звезды разогрев вещества вызывается постепенным сжатием под действием гравитационных сил. На более поздних стадиях эволюции звезда (в том числе и Солнце) поддерживает свое излучение за счет термоядерных реакций, происходящих в ее глубоких слоях. В недрах большинства звезд происходит ядерная реакция превращения водорода в гелий.

Вещество звезды чрезвычайно непрозрачно. Поэтому «родившийся» в глубине звезды фотон, прежде чем добраться до внешних слоев, испытывает множество поглощений и переизлучений и многократно преобразуется, приспосабливаясь к физическим условиям той области, куда он попадет. Он очень долго блуждает прежде чем достигнет внешних слоев звезды, откуда может уйти в мировое пространство. Слои звезды, из которых излучение может беспрепятственно уходить, называются ее *атмосферой*.

Излучение испускается как из внешних, так и из более глубоких частей атмосферы. Последние называются *фотосферой*. У таких звезд, как наше Солнце, фотосфера не слишком протяженна, и поэтому мы видим край солнечного диска резко очерченным.

Однако существуют звезды, у которых фотосфера по ряду причин очень протяженна, и ее «толщина» составляет заметную долю радиуса звезды. Это означает, что до нас доходит излучение, идущее с различных глубин звездной фотосферы.

Проходя через внешние слои звезды, излучение испытывает как общее, так и селективное поглощение, характер которого зависит как от химического состава, так и от физических условий, господствующих в звездной оболочке. Для определения этих условий необходимо подвергнуть доходящее к нам от звезды излучение спектральному анализу.

Рассмотрим прежде всего распределение лучистой энергии в спектре звезды. Для этого построим график, откладывая по горизонтальной оси длины волн, а по вертикальной — количество излучения B_λ. Построение таких графиков на основе наблюдений входит в число задач спектрофотометрии. Как наблюдения, так и теоретические рассуждения показывают, что такая кривая распределения энергии в спектре спадает до нуля (стремится слиться с горизонтальной осью) как при очень длинных волнах, так и при очень коротких, достигая, при какой-то определенной длине волны λ_{max} наибольшего расстояния от горизонтальной оси. Теоретически выведено, что справедливо соотношение

$$\lambda_{max} \cdot T = 0{,}28978 \textit{ см} \cdot \textit{град}, \qquad (3.18)$$

где T — температура излучателя. Это — *закон смещения Вина.* Чем выше температура, тем короче длина волны, при которой B_λ максимально.

Второй важный закон теории излучения состоит в следующем. Если обозначить через E полную лучистую энергию, испускаемую квадратным сантиметром поверхности излучателя в секунду, а через T — температуру, то

$$E = \sigma T^4, \qquad (3.19)$$

где

$$\sigma = 0{,}56697 \cdot 10^{-4} \frac{\textit{эрг}}{\textit{см}^2 \cdot \textit{град}^4 \cdot \textit{сек}}.$$

Это *закон Стефана — Больцмана.*

Формулы (3.18) и (3.19) следуют из формулы Планка, описывающей распределение энергии в спектре идеально поглощающего (так называемого *абсолютно черного*) тела, т. е. тела, поглощающего всякое падающее на него излучение:

$$E_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}. \qquad (3.20)$$

В этой формуле λ — длина волны, T — абсолютная температура, e — основание натуральных логарифмов ($e = 2{,}71828...$), E_λ — спектральная плотность потока энергии, выраженная в эргах, c_1 и c_2 — постоянные величины, равные $c_1 = 3{,}74 \cdot 10^{-5}$

эрг·см^2*·сек*$^{-1}$ и $c_2 = 1{,}439$ *см·град*. При этом длины волн должны быть выражены в сантиметрах. На рис. 83 изображены кривые распределения энергии в спектре абсолютно черного тела при различных температурах. При некоторых температурах и в определенных интервалах длин волн, используемых при астрофизических наблюдениях, первый член знаменателя гораздо больше единицы. Тогда формулу (3.20) можно упростить, отбросив единицу в знаменателе, и заменить формулой Вина

$$E_\lambda = c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}. \tag{3.21}$$

Конечно, ни звезды, ни Солнце не являются идеальными излучателями, но можно считать, что в некоторых ограниченных

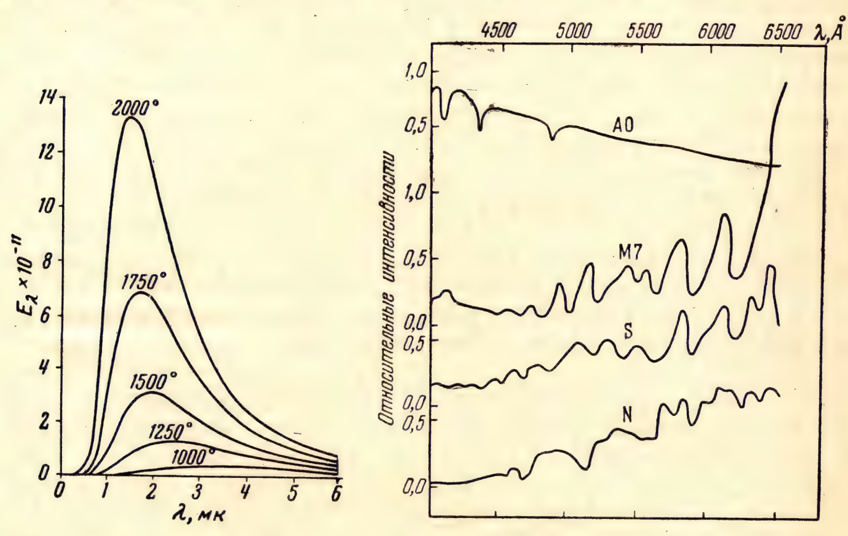


Рис. 83. Кривые распределения энергии в спектре абсолютно черного тела. Шкала по оси ординат — в единицах СГС.

Рис. 84. Распределения энергии в спектрах звезд спектральных классов A0, M7, S, N.

интервалах длин волн формулы (3.20) и (3.21) достаточно точно описывают распределение энергии в их спектрах, если подобрать подходящее значение T.

На рисунке 84 изображены кривые распределения энергии в спектрах некоторых звезд.

§ 3. Спектральная классификация звезд

Фотосферы звезд (в том числе и Солнца) испускают излучение, обладающее непрерывным спектром. Когда же излучение фотосферы проходит через расположенные над ней внешние слои атмосферы, его характер меняется. Часть лучей погло-

щается, причем это поглощение может быть непрерывным, когда ослабляется некоторый более или менее протяженный участок спектра, и селективным — избирательным, при котором поглощаются узкие участки спектра. В спектре появляются темные линии, вызванные поглощением атомов, и полосы, обусловленные поглощением молекул. Исследование спектральных линий и полос позволяет установить химический состав и физические условия, господствующие во внешних слоях оболочки звезды.

В результате многолетних исследований было разработано несколько спектральных классификаций звездных спектров. Наиболее широкое распространение получила классификация, разработанная на Гарвардской обсерватории. Она была принята впоследствии за основу и в нее постепенно вносились все новые уточнения, которые были необходимы для более полного описания свойств той или иной разновидности звезд.

Основным, «ведущим» признаком этой классификации являются те спектральные изменения, которые возникают при постепенном переходе от одного спектрального класса к другому. Эти изменения отражают уменьшение температуры атмосфер звезд.

Гарвардская спектральная классификация подробно описана в книге П. Г. Куликовского «Справочник любителя астрономии» (изд. 4-е, 1971, таблица X, стр. 123). Поэтому здесь мы приводим только главные характеристики каждого из спектральных классов.

Классификация спектров звезд может быть изображена следующей «цепочкой», вдоль которой, как уже говорилось, температура уменьшается:

```
         WN                     /R —N
Q, P,  W,   O—B—A—F—G—K—M.
         WC                          —S
```

Буква Q принята для обозначения спектральных классов новых звезд. Буквой P обозначаются спектральные классы спектров планетарных туманностей. Буквой W обозначаются спектры звезд типа Вольфа — Райе — чрезвычайно горячих звезд, в спектрах которых много ярких эмиссионных линий. В спектре звезд WN видны спектральные линии азота, а в спектре звезд WC — линии углерода. Температуры фотосфер этих звезд очень высоки: от 60 до 100 тыс. градусов.

Остальные спектральные классы можно кратко характеризовать так:

O — наиболее заметны линии, принадлежащие ионизованному гелию. Иногда видны эмиссионные линии (T от 25 000 до 50 000°).

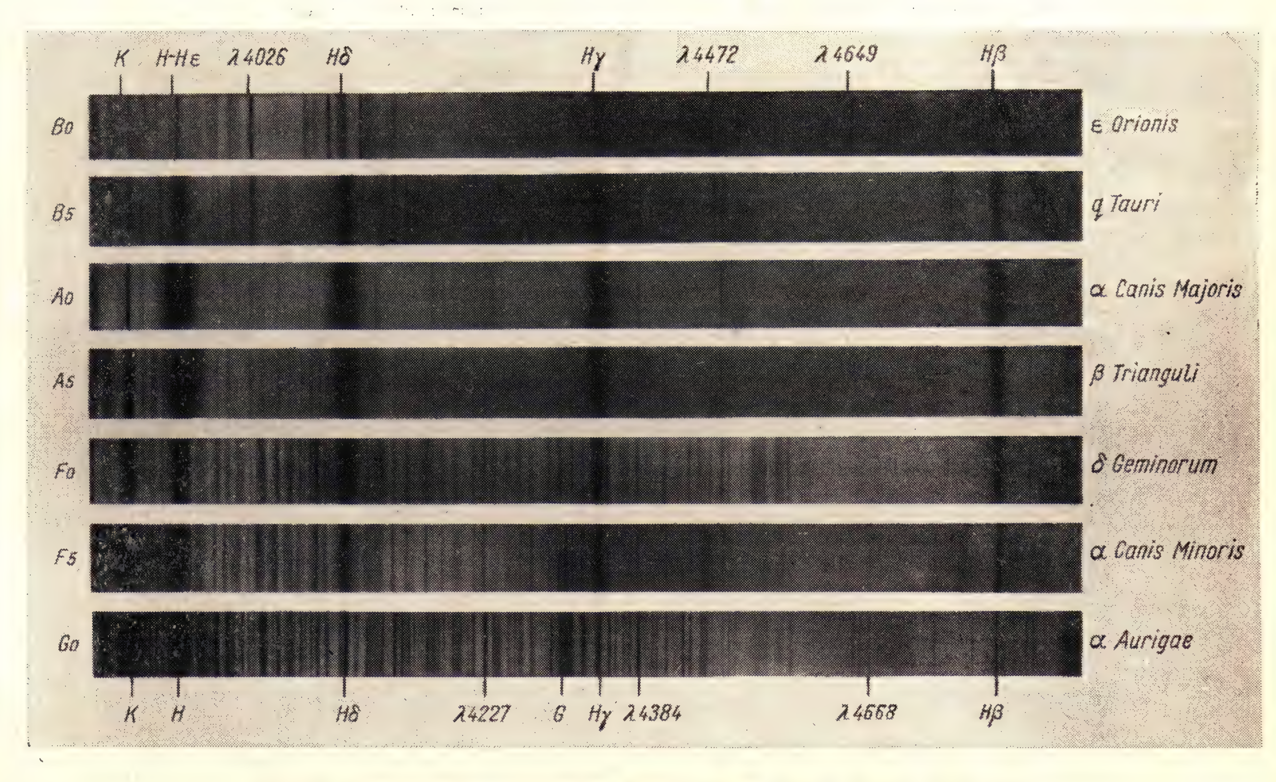


Рис. 85а. Спектральная классификация звезд (спектры B0, B5, A0, A5, F0, F5, G0).

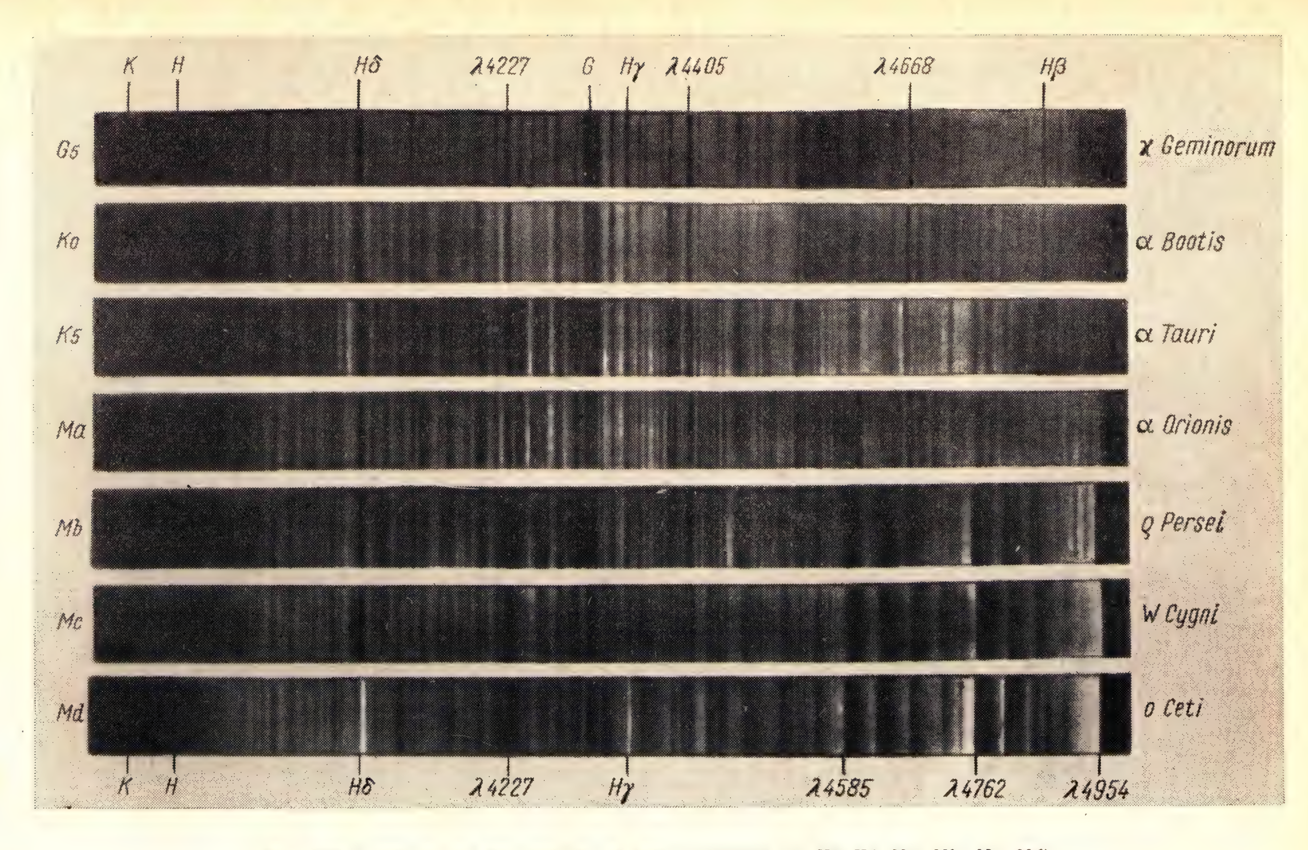


Рис. 85б. Спектральная классификация звезд (спектры G5, K0, K5, Ma, Mb, Mc, Md).

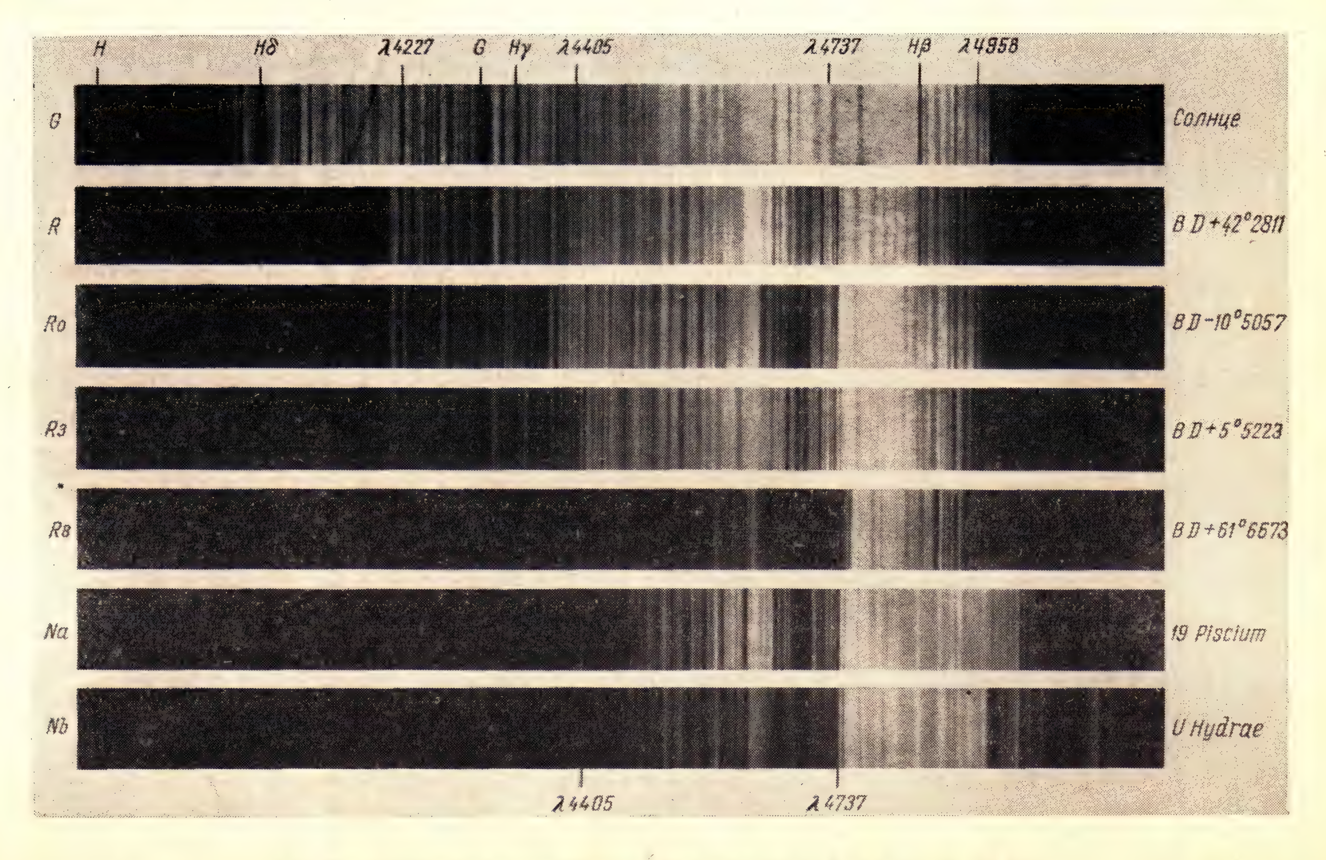


Рис. 85в. Спектральная классификация звезд (спектры G, R, R0, R3, R8, Na, Nb).

B — наиболее заметны линии поглощения нейтрального гелия (T от 15 000 до 25 000°).

A — наиболее интенсивны линии поглощения водорода: бальмеровская серия (T от 9000 до 12 000°).

F — линии бальмеровской серии ослаблены. Появляются хорошо заметные линии H и K ионизованного кальция (T около 7500°).

G — очень интенсивны линии H и K. Много линий поглощения атомов металлов. Линии водорода не выделяются на фоне спектра, пересеченного очень большим количеством линий. К этому спектральному классу принадлежит Солнце (T около 6000°).

K — многочисленны линии металлов. Интенсивна полоса G. Становится заметной полоса поглощения молекулы окиси титана (T около 5000°).

M — спектр пересечен полосами поглощения молекул окиси титана. Фиолетовый конец спектра очень ослаблен (T от 2000 до 3500°).

Параллельными ветвями идут спектральные классы R, N и S. По температуре и распределению энергии в спектре класс R соответствует классу K, но по линиям поглощения они различаются. Для класса R характерны линии углерода. То же самое относится к классам N и M. Они сходны по температуре, но если в классе M видны полосы поглощения окиси титана, то в классе N — полосы поглощения молекул углерода.

Кроме того, выделен класс S, который по температуре не отличается от класса M, но в его спектре видны полосы поглощения окиси циркония.

Таким образом, при низких температурах становится более заметным различие химического состава звездных оболочек.

Каждый из спектральных классов разделяется на 10 подклассов, что отмечается соответствующей цифрой, например B8, A5, K2 и т. д.

Если в спектре видны эмиссионные линии, то добавляется буква «e», например B5e. Если спектр обладает особенностями, не укладывающимися в общую классификацию, то добавляют букву «p», что означает «пекулярный», например, Ap.

Температура определяет главный вид спектра. Однако оказалось, что давление газа в той области звездной оболочки, где образуются спектральные линии, влияет на их ширину. При малой плотности и малом давлении спектральные линии тонкие и резко очерченные. В этом случае к обозначению спектрального класса добавляется индекс c, например cA2. Такие звезды обычно являются сверхгигантами. Далее, появилась возможность по интенсивности избранных линий поглощения судить о том, какова светимость звезды, т. е. является ли она гигантом или карликом. В первом случае перед спектральным классом звезды

ставится индекс «g» (гигант), во втором — «d» (карлик), например gK0, dM2.

Ряд причин (в частности, осевое вращение) приводит к расширению и размыванию спектральных линий. Поэтому введены индексы «n» — диффузные линии, и «s» — резкие линии, которые также пишутся рядом с обычным символом спектрального класса.

Таким образом, Гарвардская классификация с течением времени значительно усложнилась и «обросла» различными индексами. Поэтому были сделаны попытки упорядочения спектральной классификации на более широкой основе.

Одной из таких классификаций является Йеркская, разработанная Морганом, Кинаном и Колльманом; ее сокращенно называют «классификацией МКК». В ней оставлены спектральные классы Гарвардской классификации, но введено понятие о классе светимости, который определяется по виду и относительной интенсивности некоторых спектральных линий. Класс светимости — это характеристика абсолютной звездной величины звезды (см. § 4, гл. III). Классов светимости шесть:

Ia — яркие сверхгиганты; абсолютная величина $M = -8^m,0$;

Ib — слабые сверхгиганты; абсолютная величина $M = -4^m,5$;

II — промежуточные сверхгиганты; абсолютная величина $M = -2^m,5$;

III — нормальные гиганты;

IV — субгиганты;

V — карлики, или звезды главной последовательности диаграммы Герцшпрунга — Рессела (см. § 8, гл. III).

Расположение этих классов светимости на диаграмме Герцшпрунга — Рессела показано на рис. 88.

Классификация МКК является двумерной. Спектральные классы обозначаются в ней так: A2 Ia, K5 IV и т. д.

Французские астрономы разработали для звезд ранних спектральных классов другую классификацию, основанную на данных спектрофотометрических наблюдений. Было замечено, что у звезд практически одинаковых спектральных классов наблюдаются существенные различия в распределении энергии в ультрафиолетовой части спектра. Это хорошо видно на рис. 86, на котором изображены кривые распределения энергии в спектре звезды ε Ориона (вверху) и γ Близнецов (внизу). В системе МКК спектральный класс Ориона B0 Ia, следовательно, эта звезда — сверхгигант, в то время как γ Близнецов имеет спектральный класс A0V и принадлежит главной последовательности.

Чем вызвано это различие? Оно обязано главным образом различию физических условий в звездных оболочках. У сверхгиганта оболочка более разреженная, чем у звезды главной последовательности. В спектре γ Близнецов хорошо видна серия Бальмера. Узкие глубокие линии поглощения водорода стремятся

к некоторому пределу, расположенному в левой части рисунка,— «голове» серии Бальмера. Левее этого предела начинается непрерывное поглощение, которое производит атом водорода, возбужденный до второго энергетического уровня; уходя с этого уровня, электрон поглощает любую длину волны, меньшую, чем у «головы» серии, и ионизуется. Это и приводит к образованию *бальмеровского скачка*, который может характеризовать спектральные свойства звезды. На определении его величины французские астрономы, следуя Шалонжу, и основали свою классификацию. На рис. 87 изображены основные параметры, определяющие эту классификацию. Проводя на кривой распределения энергии в спектре огибающие, определяют величину скачка D и ту длину волны λ_1, при которой средняя интенсивность пересекает наблюденную кривую распределения энергии. Эта спектральная классификация, приписывающая каждой звезде два числа, D и λ_1, так же как система МКК, — двумерная. Впоследствии был прибавлен и третий параметр, φ_b, — спектрофотометрический градиент, который характеризует быстроту падения интенсивности в зависимости от длины волны при приближении к голове серии Бальмера. Такая классификация уже полнее характеризует спектр звезды и является трехмерной.

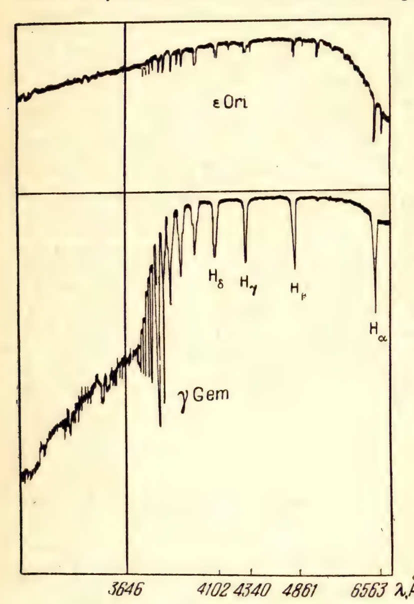


Рис. 86. Распределение энергии в спектрах звезд ε Ориона и γ Близнецов. На нижней диаграмме хорошо виден большой «бальмеровский скачок».

Вследствие специфических условий, имеющих место в оболочках очень горячих и холодных звезд, на виде их спектра сильно сказывается различие химического состава.

Были обнаружены *металлические звезды*, обозначаемые в Гарвардской классификации буквой m, приписываемой к символу спектрального класса, например, A5m. Если определять спектральный класс по интенсивности линии K ионизованного кальция, то звезда оказывается принадлежащей к классу A. В то же время линии других металлов выделяются в спектре таких звезд настолько сильно, что надо было бы классифицировать его как принадлежащий к классу F. В трехмерной французской классификации металлические звезды выделяются из общих последовательностей звезд.

Существуют также *гелиевые* звезды, обладающие избытком гелия по сравнению с обилием водорода.

Затем была выделена особая группа звезд спектрального класса A, у которых видны сильные линии, принадлежащие атомам редких земель — ионизованным атомам гадолиния, европия и атомам марганца и хрома. Оказалось, что эти линии периодически изменяют свои интенсивности, что вызвано изменением огромных по напряженности магнитных полей. Такие звезды были названы *магнитными переменными.*

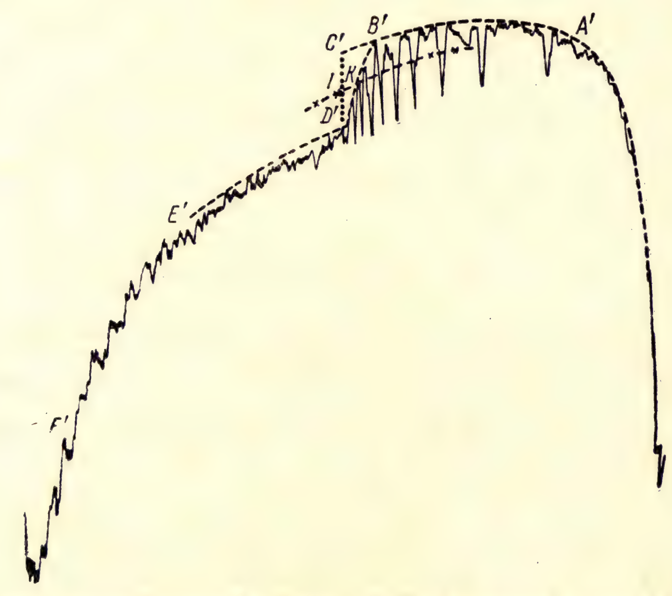


Рис. 87. Регистрограмма спектра π_1 Лебедя. $A'B'C'$ — непрерывный спектр в интервале от 4600 до 3700 Å. $D'E'F'$ — то же в ультрафиолетовой области. Экстраполированная точка C', так же как и D', имеет длину волны $\lambda=3700$ Å, т. е. не совпадает с теоретической границей бальмеровской серии λ_0. Разность $C'D'$ в интенсивностях определяет величину бальмеровского скачка $D=\lg\left(I_{C'} : I_{D'}\right)$. Средняя точка I проэкстраполированная в сторону скопившихся линий до пересечения с их записью, определяет точку K, длина волны которой λ_1 есть второй параметр французской спектральной классификации (D, λ_1).

Отличными от обычных спектров оказались также спектры субкарликов — звезд пониженной светимости; ветвь субкарликов располагается на диаграмме Герцшпрунга — Рессела параллельно главной последовательности, но сдвинута в сторону меньших светимостей. Их иногда называют звездами VI класса светимости. Их гарвардские спектры сопровождаются символами sd, sdF, sdG, sdK. Особенность этих спектров — наличие в них ослабленных металлических линий, так что с первого взгляда кажется, что они принадлежат звездам спектрального

класса A. Это, в частности, является причиной наличия у них ультрафиолетового избытка излучения.

Совершенно особые спектры у белых карликов (см. § 8, гл. III). Их низкие светимости и большие плотности вещества, а также большие значения ускорения силы тяжести во внешних слоях делают их спектры настолько особенными, что описать их в рамках Гарвардской классификации невозможно. Гринстейн предложил для них особую классификацию. Вот главные спектральные классы:

DC — непрерывный спектр с почти незаметными темными линиями,

DO — сильны линии ионизованного гелия,

DB — сильны линии нейтрального гелия, линий водорода нет,

DA — сильны линии водорода, а линий гелия не видно,

DF — видны линии H и K ионизованного кальция, линий водорода нет,

DG — есть линии H и K и линии железа, но нет линий водорода.

§ 4. Блеск и звездная величина

Свет звезды, падая на земную поверхность, создает некоторую освещенность (см. § 1, гл. III). Астрономы называют освещенность площадки, перпендикулярной к лучам света, *блеском* звезды. С блеском связана и звездная величина. Чем больше блеск звезды, тем меньше ее звездная величина. Обозначим блеск звезды n-й величины через E'_n, а m-й величины — через E'_m. Тогда их связывает формула

$$\frac{E'_m}{E'_n} = 2{,}512^{n-m} \qquad (\lg 2{,}512 = 0{,}400). \qquad (3.22)$$

Отсюда после логарифмирования получаем

$$\lg\left(\frac{E'_m}{E'_n}\right) = 0{,}4\,(n-m) \quad \text{или} \quad n - m = 2{,}5\,\lg\left(\frac{E'_m}{E'_n}\right). \qquad (3.23)$$

Эта формула дает возможность определить разность звездных величин, но не саму звездную величину каждой из звезд. Для полного определения звездной величины надо ввести дополнительное условие о нуль-пункте. Его выбирают условно. В результате сравнения с физическими определениями освещенности оказалось, что освещенность за пределами земной атмосферы, равную одному люксу, создает звезда $-13{,}89 \pm 0{,}05$ звездной величины.

Звездные величины зависят не только от источника излучения, но и от способа регистрации излучения.

Если приемник излучения реагирует на всю энергию падающего на него излучения, то он измеряет *болометрическую* звездную величину.

Такой прибор, который был бы одинаково чувствителен к излучениям всех длин волн, создать практически невозможно. Поэтому болометрическую звездную величину, играющую значительную роль в теоретических работах, зная распределение энергии в спектре звезды, обычно вычисляют на основании совокупности измерений, полученных селективными приборами. Таким образом, исходные данные для этих вычислений задаются в виде функции $E(\lambda)$, описывающей зависимость энергии излучения от длины волны.

Умножая $E(\lambda)$ на соответствующий интервал длин волн и суммируя по всем длинам волн, получаем величину

$$H = \sum_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} E(\lambda)\,\Delta\lambda. \tag{3.24}$$

Эта величина определяет полную мощность излучения звезды. Определив таким образом величины H_1 и H_2 для двух звезд, используем формулу (3.23) для определения разности их болометрических величин. Остается только соответствующим образом определить нуль-пункт и учесть ряд поправок.

Дело в том, что излучение звезды, идущее к нам через межзвездное пространство, ослаблено космическим поглощением, которое ослабляет излучение различных длин волн по-разному. Для его учета надо знать прозрачность межзвездной среды в зависимости от длины волны. Эта зависимость различна в разных частях Галактики.

Кроме того, излучение звезды проходит и через земную атмосферу, которая неодинаково прозрачна для излучений различных длин волн. Это также надо учитывать. Только после введения этих поправок можно применять формулу (3.23).

Визуальные звездные величины. Визуальный блеск звезды является мерой ощущения, возникающего в зрительном аппарате человека. Глаз человека неодинаково чувствителен к излучению различных длин волн, что описывается функцией $\beta(\lambda)$. Таким образом, для определения воспринимаемой глазом интенсивности излучения, т. е. визуального блеска звезды, надо составить сумму произведений:

$$E' = \sum_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \beta(\lambda)\,E(\lambda)\,\Delta\lambda. \tag{3.25}$$

Используя затем формулу (3.23) и введя определенный условный нуль-пункт, мы получаем визуальные звездные величины. Для их характеристики надо указать, к каким длинам волн наиболее чувствителен приемник излучения. Человеческий глаз

в среднем наиболее чувствителен к излучению, имеющему длину волны 530 *ммк*.

Однако следует заметить, что у разных людей чувствительность глаз различна. У некоторых людей глаза чувствительнее к красным лучам, в то время как у других — к синим.

Кроме того, кривая спектральной чувствительности глаза зависит и от интенсивности излучения наблюдаемого объекта. Если наблюдается яркий объект, то глаз, в среднем, наиболее чувствителен к излучению, имеющему длину волны 560 *ммк*.

В ночное же время глаз меняет свою чувствительность. Теперь наибольшая чувствительность приходится на долю излучения, имеющего длину волны 510 *ммк*. Это приходится учитывать при визуальных фотометрических наблюдениях.

Фотографические звездные величины. Фотографическим блеском звезды называется тот блеск, который воспринял бы наблюдатель при визуальных наблюдениях, если бы спектральная чувствительность его глаза совпадала со спектральной чувствительностью несенсибилизированной фотографической пластинки. Вводя в формулу (3.25) коэффициент $\beta(\lambda)$, характеризующий зависимость чувствительности фотографической пластинки от длины волны (его можно определить опытным путем для каждой λ), мы получим фотографический блеск звезды $E'_{ф}$. Введя его в формулу (3.23), мы получим разность фотографических звездных величин двух наблюдавшихся звезд. Было принято, что звезды спектрального класса A0, имеющие звездные величины, заключенные в пределах от 5,5 до 6,5, обладают одинаковыми фотографическими и визуальными звездными величинами.

Разность между фотографической и визуальной звездными величинами одной и той же звезды называется *показателем цвета*

$$C = m_{фот} - m_{виз}. \tag{3.26}$$

Красные звезды имеют положительные показатели цвета, а голубые — отрицательные.

Если у визуальных звездных величин «эффективная» длина волны $\lambda = 530$ *ммк*, то у фотографических она равна 425 *ммк*.

Получаемые из наблюдений звездные величины, как визуальные, так и фотографические, должны быть освобождены от влияния атмосферного земного поглощения. От влияния межзвездного поглощения освободить их, без сложного исследования спектров, не удается.

Фотовизуальные звездные величины. Визуальные звездные величины определяются путем сравнения блеска звезд, определяемых при помощи фотометра. О блеске звезд судит глаз наблюдателя. Эти наблюдения требуют большого количества времени и отягощены существенными систематическими ошибками. Поэтому визуальные фотометрические наблю-

дения заменили фотовизуальными. Для этой цели подобрали соответствующие светофильтры и кривые спектральной чувствительности фотографических пластинок (ортохроматических) так, чтобы они в своем суммарном действии могли заменить глаз человека. Иными словами, кривая спектральной чувствительности созданной системы должна была совпадать с кривой спектральной чувствительности глаза. После этого по таким снимкам можно было определять звездные величины звезд, которые называются *фотовизуальными.*

Созданы фотометрические каталоги и специальные каталоги стандартных областей, которые используют для «дифференциальных» привязок звездных величин определяемых звезд (см. § 6, гл. III).

Звездные величины системы U, B, V. Значительное увеличение точности фотометрических определений, вызванное внедрением фотоэлектрического способа наблюдений, потребовало пересмотра тех основных предпосылок, на которых были основаны созданные ранее визуальная и фотографическая системы звездных величин. Были разработаны стандартные типы фотоумножителей и подобраны соответствующие светофильтры.

История создания широкополосных систем звездных величин очень хорошо описана в главе В. Л. Страйжиса в книге «Методы исследования переменных звезд» («Наука», 1971), к которой мы и отсылаем читателя. Из этой книги мы приводим данные об эффективных длинах волн и полуширинах соответствующих спектральных областей:

Наименование системы	*U*	*B*	*V*
Эффективная длина волны в Å	3640	4415	5505
Полуширина области в Å	440	960	830

Из этой таблички видно, что система U измеряет звездные величины в ультрафиолетовой области спектра, система B — в области, близкой к той, которую использует обычная фотографическая пластинка (величины B соответствуют величинам $m_{\text{фот}}$), а система V — в визуальной области (величины V примерно соответствуют обычным $m_{\text{виз}}$).

Эта система, хотя и не является идеальной, дает более подробную информацию об излучении звезды, чем описанные выше системы визуальных и фотографических величин. Вместо одного показателя цвета мы имеем теперь два. Показатель цвета $U - B$ позволяет сравнить интенсивности излучения в ультрафиолетовых и синих лучах, а показатель $B - V$ — в синих и желтых. Как мы увидим дальше, по этим показателям цвета можно построить диаграмму, отложив на горизонтальной оси $B - V$, а на вертикальной $U - B$. Тогда каждая звезда изобразится на ней точкой, а совокупности звезд расположатся в виде определенных последовательностей, что позволяет сделать

важные выводы о физических свойствах звездных оболочек и самих звезд. Кроме того, эта диаграмма позволяет судить о межзвездном поглощении света (см. § 8 гл. III).

Кроме системы U, B, V, разрабатывались и другие многоцветные системы, в которых определяются красные, близкие инфракрасные и далекие инфракрасные звездные величины. За подробностями отсылаем читателя к упомянутой выше работе В. Л. Страйжиса. В частности, наиболее научно обоснованная система узкополосных звездных величин разработана В. Л. Страйжисом и его сотрудниками.

Итак, мы видим, что наиболее свободной от дополнительных условий является болометрическая система звездных величин. Кроме нее, иногда вводили *радиометрические* звездные величины $m_{рад}$, которые определяли из наблюдений, производимых при помощи термоэлемента. Разность между визуальной звездной величиной и радиометрической называется *тепловым индексом.*

Разность между визуальной и болометрической звездными величинами называется *болометрической поправкой* $BC = m_{бол} - m_{виз}$. Она зависит главным образом от спектрального класса звезды; вычислены таблицы болометрических поправок. Труднее всего получить болометрические поправки для низкотемпературных звезд. Приводим их значения в табл. XII.

Таблица XI

Болометрические поправки

Главная последовательность. Звезды V класса светимости		Сверхгиганты. Звезды Ia класса светимости		Гиганты. Звезды III класса светимости	
Спектральный класс	Поправка	Спектральный класс	Поправка	Спектральный класс	Поправка
O5	−4,6	B0	−3,0	G0	−0,1
B0	−3,0	A0	−0,7	G5	−0,3
B5	−1,6	F0	−0,2	K0	−0,6
A0	−0,68	G0	−0,3	K5	−1,0
A5	−0,30	G5	−0,6	M0	−1,7
F0	−0,10	K0	−1,0	M5	−3,0
F5	0,00	K5	−1,6		
G0	−0,03	M0	−2,5		
G5	−0,10	M5	−4,0		
K0	−0,20				
K5	−0,58				
M0	−1,20				
M5	−2,1				

Абсолютные звездные величины. Видимый блеск и видимая звездная величина звезды зависят от ее расстояния от наблюдателя r (его мы будем выражать в парсеках). Чтобы

освободиться от влияния расстояния, введено понятие об абсолютном блеске и абсолютной величине звезды.

Абсолютным блеском звезды L называется тот блеск, который она имела бы, будучи удалена от наблюдателя на расстояние, равное 10 парсекам (один парсек равен $3{,}084 \cdot 10^{18}$ *см*).

Так как освещенность убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, то абсолютный блеск и видимый блеск E' связаны соотношением

$$\frac{L}{E'} = \frac{r^2}{100} = 2{,}512^{m-M}. \qquad (3.37)$$

В эту формулу также введены следующие величины: видимая звездная величина звезды m и ее *абсолютная звездная величина* M, под которой понимают ту звездную величину, которую имела бы звезда, будучи удаленной на расстояние, равное 10 парсекам.

Логарифмируя и произведя простые преобразования, получаем

$$M = m + 5 - 5 \lg r. \qquad (3.28$$

Это очень важная формула, так как она позволяет вычислить абсолютную величину звезды, если известно расстояние, и вычислить расстояние, если известна абсолютная величина, по формуле

$$\lg r = \frac{m - M}{5} + 1. \qquad (3.29)$$

Абсолютные величины могут быть болометрическими, визуальными, фотографическими и т. п.

Очень часто вместо абсолютной звездной величины используют понятие о светимости звезды. Светимость — это отношение абсолютного блеска звезды к абсолютному блеску Солнца.

Видимая звездная величина Солнца в системе V равна —26,78. Абсолютная величина Солнца в той же системе V равна +4,77. Светимость звезды вычисляется по формуле

$$\frac{L}{L_\odot} = 1{,}91 - 0{,}4 M_V, \qquad (3.30)$$

где через M_V обозначена абсолютная величина звезды в системе V.

Формулы (3.28) и (3.29) выведены в предположении отсутствия межзвездного поглощения света. Так как оно может быть весьма существенным, его приходится учитывать и вместо формулы (3.28) применять более точную:

$$M = m + 5 - 5 \lg r - A(r), \qquad (3.31)$$

где $A(r)$ — пропорциональное расстоянию поглощение света (см. § 8).

Астрономические единицы измерения яркости. Для измерения яркости в астрономии иногда используется особая единица — звездная величина с квадратного градуса (минуты или секунды).

Площадь всей сферы единичного радиуса равна 4π. Одна секунда дуги, будучи выражена в радианной мере, равна

$$1'' = \frac{2\pi}{360 \times 60 \times 60} = \frac{1}{206\,265} = (2{,}063 \cdot 10^5)^{-1};$$

так как под квадратной секундой мы понимаем площадь маленького квадрата со стороной, равной одной секунде дуги, то площадь всей сферы содержит $\frac{4\pi}{(1'')^2} = 4\pi\,(2{,}063 \cdot 10^5)^2$ квадратных секунд. Один стерадиан содержит их в 4π раз меньше, и, таким образом, в одном стерадиане

$$\left.\begin{aligned} N_3 &= 4{,}256 \cdot 10^{10} \textit{ кв. сек}, \\ N_2 &= (3{,}4377 \cdot 10^3)^2 = 1{,}182 \cdot 10^7 \textit{ кв. мин}, \\ N_1 &= (57{,}296)^2 = 3282{,}8 \textit{ кв. град}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.32)$$

В формулу (3.23) подставим вместо E'_n величину E'_0 — освещенность, создаваемую одним люксом, и вместо n — «звездную величину люкса» m_0, понимая под ней звездную величину такой звезды, которая создала бы освещенность, равную E'_0. Получим

$$m_0 - m = 2{,}5 \lg\left(\frac{E'_m}{E'_0}\right). \qquad (3.33)$$

Мы знаем, что вне земной атмосферы $m_0 = -13{,}89$, а если учесть поглощение света в земной атмосфере, то $m_0 = -14{,}18$.

Пусть теперь избранная нами площадка имеет яркость B стильбов. Согласно формуле (3.8) освещенность $E' = B \cdot \omega$ *сб*. Но один стильб создает освещенность, равную 1 фоту в угле, равном стерадиану. Фот же равен 10^4 люксов. Таким образом,

$$1 \textit{ сб} = \frac{10^4 E'_0}{\textit{стерад}}$$

и потому

$$\frac{E'}{E'_0} = \frac{E'_m}{E'_0} = \frac{B \cdot \omega \cdot 10^4}{\textit{стерад}} = \frac{10^4 B}{N},$$

где N — число выбранных нами площадок в одном стерадиане.

Подставляя в формулу (3.33), получаем

$$m_0 - m = 2{,}5 \lg\left(\frac{10^4 B}{N}\right) = 10 + 2{,}5 \lg B - 2{,}5 \lg N$$

или

$$m = -24{,}18 - 2{,}5 \lg B + 2{,}5 \lg N. \qquad (3.34)$$

После подстановки чисел из (3.32) находим звездную величину площадок:

$$\left.\begin{array}{lll} 1 \text{ кв. градус} & m^{\circ} = -15{,}39 - 2{,}5 \lg B, \\ 1 \text{ кв. минута} & m' = -6{,}50 \quad - 2{,}5 \lg B. \\ 1 \text{ кв. секунда} & m'' = +2{,}38 \quad - 2{,}5 \lg B. \end{array}\right\} \qquad (3.35)$$

Последние формулы бывают весьма полезными при выполнении некоторых расчетов. Приведем один из примеров.

Известно, что ночное небо обладает собственным свечением — это светится наша атмосфера. Измерения показали, что яркость ночного неба близка к 10^{-8} стильб. Первая из формул позволяет оценить, какое количество излучения мы воспринимаем от 1 кв. градуса ночного неба. Подставляя $B = 10^{-8}$ стильб, находим $m = 4{,}61$ зв. вел.

Теперь рассчитаем, какое количество света идет к нам от 100 кв. градусов ночного неба. В первую формулу надо подставить $B = 10^{-6}$. Теперь мы получим $m = -0{,}39$ зв. вел.

Какое практическое значение имеет этот расчет? Допустим, что мы организуем фотоэлектрические наблюдения метеоров. Для этого надо собрать на фотокатоде фотоумножителя свет от возможно большего участка звездного неба, скажем, от 100 кв. градусов, чтобы повысить вероятность регистрации метеора. В таком случае, как показал расчет, засветка фотокатода будет такой же, как от звезды — 0,4 зв. вел. Следовательно, для регистрации дополнительного сигнала от метеора надо, чтобы его блеск превосходил блеск звезд 1-й звездной величины!

§ 5. Поглощение света в земной атмосфере

При обработке большинства фотометрических наблюдений приходится учитывать поглощение света небесных светил в земной атмосфере — атмосферную экстинкцию. Атмосферная масса $M(z)$, через которую проходят лучи звезды, зависит от зенитного расстояния; составлены подробные таблицы, выражающие эту зависимость.

Формула для учета атмосферной экстинкции такова:

$$m_{\lambda}(z) = m_{\lambda_0} + k_{\lambda} M(z), \qquad (3.36)$$

где m_{λ_0} — внеатмосферная звездная величина светила, k_{λ} — коэффициент экстинкции, а $m_{\lambda}(z)$ — видимая звездная величина. Все эти величины отнесены к определенной длине волны λ, так как коэффициент экстинкции зависит от длины волны.

Величина k_{λ} не остается постоянной, а изменяется ото дня ко дню, а иногда даже на протяжении одной ночи. Прозрачность земной атмосферы зависит от многих метеорологических факторов. Поэтому, если нужно точно учесть поглощение света в земной атмосфере, надо в тот же вечер попутно с определениями блеска небесных светил выводить величину k_{λ}.

Как видно из формулы (3.36), для определения величины k_λ надо определить видимые звездные величины одной и той же звезды при двух различных зенитных расстояниях. Тогда мы получим два уравнения:

$$m_\lambda(z_1) = m_{\lambda_0} + k_\lambda M(z_1),$$
$$m_\lambda(z_2) = m_{\lambda_0} + k_\lambda M(z_2).$$

Вычитая одно уравнение из другого, получим

$$k_\lambda = \frac{m_\lambda(z_2) - m_\lambda(z_1)}{M(z_2) - M(z_1)}.$$

Этот способ определения k_λ предполагает, что мы можем получить видимые звездные величины звезд путем сравнения их блеска с блеском лабораторного эталона и что величина k_λ не изменялась при изменении зенитного расстояния звезды от z_1 до z_2. Определения могут быть сделаны еще более точными, если наблюдать одну и ту же звезду при разных зенитных расстояниях многократно. Тогда мы можем написать систему уравнений (3.36) для каждого зенитного расстояния и, зная воздушные массы, вычислять неизвестные m_{λ_0} и k_λ по способу наименьших квадратов.

Для таких определений в фотоэлектрических фотометрах устанавливаются радиоактивные люминофоры, свечение которых время от времени замеряется.

Если нет возможности выполнить сравнение с лабораторным стандартом и определить звездную величину $m_\lambda(z)$, то при приближенных определениях можно ограничиться сравнением блесков двух близких к зениту звезд сравнения с блеском звезды, наблюдаемой при большом зенитном расстоянии. Если звезда имеет зенитное расстояние, меньшее 20°, то с точностью до 5% можно считать ее воздушную массу равной единице. Тогда ее видимая звездная величина будет согласно формуле (3.36) равна

$$m_\lambda(z) = m_{\lambda_0} + k_\lambda.$$

Выбрав две близкие к зениту звезды сравнения, мы можем написать два равенства,

$$m_\lambda(z_A) = m_{\lambda A} + k_\lambda \quad \text{и} \quad m_\lambda(z_B) = m_{\lambda B} + k_\lambda,$$

в которых $m_{\lambda A}$ и $m_{\lambda B}$ — внеатмосферные звездные величины звезд A и B, а $m_\lambda(z_A)$ и $m_\lambda(z_B)$ — их видимые звездные величины. Отсюда видно, что разность их видимых звездных величин равна разности заатмосферных величин:

$$m_\lambda(z_B) - m_\lambda(z_A) = m_{\lambda B} - m_{\lambda A}.$$

Выполнив оценку блеска третьей звезды, находящейся на зенитном расстоянии z, по любому из способов, Пикеринга или

Нейланда — Блажко (см. § 17, гл. IV), мы получаем

$$ApCqB.$$

Из этой оценки вычисляем:

$$m_\lambda(z_C) = m_\lambda(z_A) + \frac{p}{p+q}[m_\lambda(z_B) - m_\lambda(z_A)] =$$

$$= m_{\lambda A} + k_\lambda + \frac{p}{p+q}(m_{\lambda B} - m_{\lambda A}),$$

но

$$m_{\lambda A} + \frac{p}{p+q}(m_{\lambda B} - m_{\lambda A}) = m_{\lambda C}(z),$$

где $m_{\lambda C}$ — внеатмосферная звездная величина наблюдавшейся звезды. Таким образом,

$$m_\lambda(z_C) = m_{\lambda C}(z) + k_\lambda.$$

Но для этой же звезды мы находим в каталоге ее внеатмосферную звездную величину $m_{\lambda C}$ и, следовательно, $m_\lambda(z_C) = m_{\lambda C} + k_\lambda M(z)$. Приравнивая оба выражения для $m_\lambda(z_C)$, находим

$$m_{\lambda C}(z) + k_\lambda = m_{\lambda C} + k_\lambda M(z),$$

откуда

$$k_\lambda = \frac{m_{\lambda C}(z) - m_{\lambda C}}{M(z) - 1}. \tag{3.37}$$

Таким образом, для определения величины k_λ достаточно одной оценки.

Вместо величины k_λ часто используют величину коэффициента прозрачности p_λ, который связан с k_λ соотношением

$$k_\lambda = -2{,}5 \lg p_\lambda.$$

Параметр p_λ, так же как параметр k_λ, зависит от длины волны, что можно видеть из табл. XIII.

Таблица XIII

λ, Å	p_λ	λ, Å	p_λ	λ, Å	p_λ
6900	0,804	4850	0,723	3400	0,456
6500	0,803	4360	0,676	3300	0,412
6000	0,776	4000	0,614	3260	0,367
5200	0,756	3600	0,566	3200	0,322

До сих пор мы рассматривали поглощение монохроматического излучения определенной длины волны. Однако глаз, фотографическая пластинка и фотоумножитель суммируют излучения различных длин волн, «умножая» их на некоторые коэффициенты, зависящие от длины волны и спектральной чувствительности. В результате получается сходная, но несколько

иная картина. Коэффициент k_λ оказывается зависящим также и от спектрального класса звезды. Поэтому используют формулы:

для визуальных лучей

$$m_{\text{виз}}(z) - m_{\text{виз}}(0) = k_{\text{виз}} M(z)$$

и для фотографических лучей

$$m_{\text{фот}}(z) - m_{\text{фот}}(0) = k_{\text{фот}} M(z) + k'_{\text{фот}} [M(z)]^2 + k''_{\text{фот}} [M(z)]^3.$$

Типовые коэффициенты приведены в табл. XIV.

Таблица XIV

Спектральный класс звезды	$k_{\text{виз}}$	$k_{\text{фот}}$	$k'_{\text{фот}}$	$k''_{\text{фот}}$
B	0,385	0,752	+0,00300	—0,0405
A	0,335	0,695	+0,00150	—0,0265
F	0,335	0,654	+0,00175	—0,0255
G	0,332	0,605	+0,00182	—0,0255
K	0,330	0,560	+0,00025	—0,0100
M	0,325	0,516	+0,00025	—0,0065

Из этой таблицы видно, что для визуальных лучей коэффициент $k_{\text{виз}}$ почти не зависит от спектрального класса звезды. Для выполнения всех этих вычислений надо знать воздушные массы $M(z)$. Существуют необходимые таблицы. Однако при их отсутствии можно полагать $M(z)$ равной $\sec z$ с небольшой поправкой, зависящей от зенитного расстояния. Эти поправки приведены в табл. XV.

Таблица XV

z	Поправка	z	Поправка	z	Поправка	z	Поправка
0°	0,000	61°	—0,006	64°	—0,008	67°	—0,013
30	—0,001	62	—0,007	65	—0,010	68	—0,015
60	—0,005	63	—0,007	66	—0,011	69	—0,017

Для бо́льших зенитных расстояний нужно пользоваться специальными таблицами.

Учет атмосферного поглощения приходится производить во всех случаях, когда наблюдаются небесные светила на больших зенитных расстояниях, например, при определении полного блеска Луны во время лунного затмения или при оценках блеска искусственных спутников Земли. Особо точные фотоэлектрические наблюдения требуют учета экстинкции при любых зенитных расстояниях.

§ 6. Астрофизические звездные каталоги и стандарты

Звездные обозрения. *Боннское Обозрение* содержит приближенные координаты звезд более ярких, чем звезды 9—10 визуальной величины, отнесенные к эпохе 1855 года, а также звездные величины, основанные на грубых глазомерных оценках, точность которых невелика. Каталог сопровождается атласом, содержащим 64 карты звездного неба к северу от склонения —23°. На картах, таким образом, изображены все звезды, которые можно видеть в телескоп с отверстием 2—3 дюйма.

Каталог разбит на зоны в соответствии со склонениями; каждая из зон имеет ширину, равную градусу. Внутри каждой зоны все звезды перенумерованы в порядке их прямых восхождений, например, BD + 4°1375 отыскивается в зоне +4° по ее номеру 1375.

Продолжениями Боннского Обозрения, распространенными на южное полушарие, являются *Кордовское* и *Кейпское Обозрения.* Они также разбиты на градусные зоны.

Хотя для каждой звезды, вошедшей в Обозрение, указана ее звездная величина, обозрения не являются фотометрическими каталогами; эти звездные величины могут служить только для ориентировки. Вместе с тем эти обозрения — незаменимое пособие для организации наблюдений.

Характер обозрения имеет и специальный астрофизический каталог *Генри Дрепера.* Он содержит координаты звезд, их приближенные звездные величины и данные о спектральных классах звезд. В нем можно найти спектральные классы звезд, как правило, более ярких, чем звезды 8—8$^1/_2$ звездной величины.

Фотометрические каталоги. *Потсдамский каталог*, составленный Мюллером и Кемпфом на основе определений, сделанных визуальным фотометром Целльнера, содержит 14 тысяч звезд, которые по Боннскому Обозрению ярче 7,5 звездной величины. Впоследствии каталог был дополнен данными о звездах, входящих в зону от 0° до —10°, и о звездах, которые расположены севернее суточной параллели +75°, но более слабых. Данные Потсдамского каталога обозначаются буквами PD, а дополнительного — PPD.

Второй большой каталог визуальных звездных величин создан на Гарвардской обсерватории, где были определены при помощи визуальных фотометров звездные величины свыше 90 тысяч звезд. На основе этих наблюдений был составлен и опубликован в 1908 г. основной каталог визуальных звездных величин 9110 звезд вплоть до 6,5 зв. вел., т. е. видимых невооруженным глазом. Этот каталог называется *Ревизованной гарвардской фотометрией* и обозначается HRP. Кроме того, в «Гарвардских анналах» опубликованы также зонные каталоги, уже менее полные, но содержащие сведения о более слабых звездах.

Укажем также, что ряд фотометрических каталогов был составлен и в других обсерваториях, но они менее содержательны.

Каталоги фотографических звездных величин. Развитие астрофотографии и фотографической звездной фотометрии привело к созданию каталогов фотографических звездных величин. В 1910—1912 гг. было опубликовано наиболее фундаментальное исследование К. Шварцшильда, который составил обширный каталог фотографических звездных величин звезд, расположенных в экваториальной зоне неба от экватора до суточной параллели +20°. Этот каталог называется *«Геттингенская актинометрия»* и является одним из самых точных. Другой большой каталог был примерно в то же самое время создан в Йеркской обсерватории. Он содержит фотографические и фотовизуальные звездные величины звезд ярче 7,5 зв. вел. от суточной параллели +73° до северного полюса.

Два больших каталога фотографических звездных величин были созданы С. М. Белявским и опубликованы в Трудах Пулковской обсерватории в 1915 и 1932 гг.

Все эти каталоги носят характер фотометрических обозрений. Они сходны по своим задачам с обозрениями типа Боннского, но содержат гораздо более точные, основанные на фотометрических определениях, данные о звездных величинах.

Фотоэлектрические каталоги звездных величин. После освоения фотоэлектрического способа наблюдений и разработки системы U, B и V, массовые определения звездных величин звезд стали обычными. Огромный сводный каталог таких определений составлен и опубликован в 1968 г. Бланко, Демерсом, Дугласом и Фитцджеральдом в Трудах Вашингтонской обсерватории. Каталог содержит очень много данных; в нем можно отыскать точные (с точностью до 0,01 зв. вел.) звездные величины U, B и V почти всех ярких звезд, а также иногда сведения и об очень слабых, избранных, звездах.

Фотометрические стандарты. Составление полного звездного каталога — предприятие очень трудоемкое, особенно, если вспомнить, что по мере ослабления видимого блеска звезд их число быстро возрастает. Поэтому астрономы уже давно пошли по пути создания полных обозрений небольших по площади областей неба, так называемых стандартов.

Одним из таких стандартов является *Северный Полярный Ряд.* В этой области неба были определены как фотографические, так и фотовизуальные звездные величины почти ста звезд от 2-й до 20-й звездной величины.

Создание такого стандарта было крайне необходимо. При определениях звездных величин звезд астрономы «привязывались» к данным Северного Полярного Ряда, выполняя это как при визуальных, так и при фотографических исследованиях. Однако существуют известные неудобства при использовании Полярного Ряда и потому стали создавать иные стандарты,

расположенные в других областях неба. В качестве стандарта были выбраны Плеяды. Помимо Плеяд было выбрано 48 областей гарвардских стандартных площадок. Они расположены на небе в следующем порядке. Шесть стандартов имеют склонения $\pm 75°$ и прямые восхождения 4^h, 12^h и 20^h. Восемнадцать стандартов равномерно расположены вдоль суточных параллелей $\pm 45°$ с прямыми восхождениями от $1^h 20^m$ через каждые $2^h 40^m$. 24 стандартные области выбраны вдоль суточных параллелей $\pm 15°$, с центрами при всех нечетных прямых восхождениях ($1^h, 3^h, \ldots$). В этих стандартных областях определены фотовизуальные и фотографические звездные величины вплоть до звезд 15—17 зв. вел.

Однако гарвардские стандарты не вполне удобны, так как размещены на небе очень далеко друг от друга. Поэтому были созданы стандарты Виртанена и Высотского, которые равномерно покрывают все небо и удалены друг от друга на 10°. Эти стандарты содержат фотовизуальные звездные величины звезд от 7-й до 10-й зв. вел.

Более полувека назад Каптейн предложил выбрать на небесной сфере 206 избранных площадей, которые стали обозначаться SA (Selected Areas). Они расположны так: по одной около северного и южного полюсов мира, по шесть площадок на суточных параллелях $\pm 75°$, по 12 — на параллелях $\pm 60°$ и по 24 на параллелях $\pm 45°$, $\pm 30°$, $\pm 15°$ и 0°. Было решено подвергнуть эти площадки, размеры которых около 3°, всесторонним исследованиям. В частности, астрономы Бергедорфской обсерватории определили спектральные классы и фотографические звездные величины всех звезд вплоть до 12—13 зв. вел., входящие в северные площадки SA. Это работа типа обозрения. Советские астрономы, главным образом из Абастумани, определили для многих звезд, входящих в SA, фотовизуальные звездные величины с целью определения показателей цвета и изучения межзвездного поглощения. Эти подробные звездные каталоги также полезны для привязки к ним неизвестных определяемых звездных величин.

Фотоэлектрическим способом были созданы прекрасные стандарты звездных величин в системе *U*, *B* и *V* в Плеядах, Гиадах, Яслях, Волосах Вероники и в окрестностях многих звездных скоплений. Эти стандарты воспроизведены в книге П. Г. Куликовского «Справочник любителя астрономии». Там же приведен наилучший каталог звездных величин ярких звезд.

В заключение заметим, что очень ценный и полный компилятивный каталог, содержащий не только звездные величины, но и другие важные сведения, такие как собственные движения, лучевые скорости и т. п., составлен А. Бечваржем и издан Академией наук Чехословакии.

Сравнение фотометрических каталогов. Каждый из каталогов звездных величин обладает бóльшими или

меньшими систематическими ошибками. Они могут быть выявлены путем сравнения каталогов между собой. Для этого нужно, чтобы в двух сравниваемых каталогах содержались данные об общих звездах. Тогда для общих звезд образуются разности $\delta_i = m_{1i} - m_{2i}$, где через m_{1i} обозначены звездные величины, взятые из первого каталога, а через m_{2i} — из второго.

Разность δ_i — функция двух аргументов: показателя цвета C_i и звездной величины. Эту функцию можно с достаточной степенью точности представить первыми членами разложения

$$\delta_i = a + bm_{1i} + cC_i, \tag{3.38}$$

где a, b и c — подлежащие определению неизвестные параметры. Член a — поправка нуль-пункта, член bm_{1i} — уравнение блеска и член cC_i — цветовое уравнение.

Например, сравнение Потсдамского каталога (PD) с Гарвардским (HRP) привело к формуле

$$\mathrm{PD} - \mathrm{HRP} = 0{,}27 + 0{,}025\,(\mathrm{HRP} - 6{,}5) - 0{,}22C.$$

Здесь 0,27 — поправка нуль-пункта, 0,025 (HRP — 6,5) — уравнение блеска, — 0,22C — уравнение цвета.

Подобные формулы позволяют преобразовывать звездные величины из системы одного каталога в систему другого.

Подробное изложение вопроса о шкалах звездных величин можно найти в статье П. П. Паренаго в IV томе «Успехов астрономических наук» (1948 г.). Более подробное описание проблемы фотоэлектрических стандартов дано в главе А. С. Шарова в книге «Методы исследования переменных звезд» («Наука», 1971 г.), а достаточно полный перечень фотоэлектрических стандартов и их описание содержатся в статье А. С. Шарова и Н. Н. Якимовой, опубликованной в Трудах Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга, том 40, 1970 г.

§ 7. Звездные температуры

Распределение энергии в спектре звезды или ее показатель цвета позволяют приближенно решить вопрос о температуре фотосферы. В основу этих рассуждений положено предположение о том, что в ограниченном участке спектра излучение звезды может быть представлено формулой Вина (3.21).

Обозначим через E'_1 блеск звезды, отнесенный к эффективной длине волны λ_1, а через E'_2 — блеск звезды, отнесенный к эффективной длине волны λ_2. Обозначим через S площадь фотосферы, а через K_1 и K_2 — коэффициенты, зависящие от спектральной чувствительности приемника излучения (глáза, пластинки, фотоэлемента). Так как яркость фотосферы, по нашему предположению, описывается формулой Вина, а полное излучение звезды можно считать равным произведению ярко-

сти на площадь, то справедливы два уравнения:

$$E_1' = K_1 S c_1 \lambda_1^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda_1 T}} \quad \text{и} \quad E_2' = K_2 S c_1 \lambda_2^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda_2 T}}.$$

Разделив почленно оба соотношения, получим

$$\frac{E_1'}{E_2'} = \frac{K_1}{K_2} \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^5 e^{\frac{c_2}{T} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}.$$

С другой стороны, имеем

$$\frac{E_1'}{E_2'} = 2{,}512^{m_2 - m_1} = 2{,}512^C,$$

где через C обозначен, как обычно, показатель цвета.

Объединив обе формулы, получим

$$2{,}512^C = \frac{K_1}{K_2} \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^5 e^{\frac{c_2}{T} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}$$

или, логарифмируя,

$$0{,}4C = \lg \left[\frac{K_1}{K_2} \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^5 \right] + \frac{c_2}{T} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \lg e.$$

Введя обозначения

$$A = 2{,}5 \lg \left[\frac{K_1}{K_2} \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^5 \right], \quad B = 2{,}5 \lg e \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) c_2,$$

найдем

$$C = A + \frac{B}{T}. \tag{3.39}$$

Отсюда можно вычислить температуру T, которая называется цветовой температурой. Подставив, например, числа $\lambda_1 = \lambda_{\text{виз}} = 529$ *ммк* и $\lambda_2 = \lambda_{\text{фот}} = 425$ *ммк*, и принимая для звезд спектрального класса А величины $T = 11\,200°$ и $C = 0$, мы можем «прокалибровать» данную формулу и получить численно

$$A = -0{,}64, \quad B = 7200° \quad \text{и} \quad T = \frac{7200°}{C + 0{,}64}. \tag{3.40}$$

Цветовая температура только приближенно характеризует истинную температуру звезды. Практика показала, что она зависит от использованных эффективных длин волн λ_1 и λ_2, так как невозможно описать распределение энергии в спектре звезды одним значением T.

Значительно более определенное значение температуры можно получить, исходя из следующих простых рассуждений. Пусть S — по-прежнему означает площадь фотосферы. Предполагая, что фотосфера излучает как абсолютно черное тело, можно считать, что мощность излучения единицы поверхности звезды определяется законом Стефана — Больцмана, т. е. формулой (3.19). Тогда полная мощность излучения энергии

звездой равна

$$E_{бол} = S\sigma T^4_{эф}. \tag{3.41}$$

Входящая в это выражение температура $T_{эф}$ называется *эффективной.*

Из этой формулы можно получить способ вычисления радиусов звезд, если считать, что звезды шарообразны:

$$\frac{E_{1\ бол}}{E_{2\ бол}} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{S_1}{S_2}\frac{T^4_{1\ эф}}{T^4_{2\ эф}} = \frac{R_1^2}{R_2^2}\frac{T^4_{1\ эф}}{T^4_{2\ эф}} = 2{,}512^{M_{2\ бол} - M_{1\ бол}}$$

или

$$0{,}4\,(M_{2\ бол} - M_{1\ бол}) = 2\lg\left(\frac{R_1}{R_2}\right) + 4\lg\left(\frac{T_{1\ эф}}{T_{2\ эф}}\right)$$

и окончательно

$$\lg\left(\frac{R_1}{R_2}\right) = 0{,}2\,(M_{2\ бол} - M_{1\ бол}) - 2\lg\left(\frac{T_{1\ эф}}{T_{2\ эф}}\right). \tag{3.42}$$

§ 8. Диаграмма Герцшпрунга — Рессела и диаграмма показателей цвета

Накопление данных об абсолютных величинах звезд, их спектральных классах, цветовых и эффективных температурах и показателях цвета позволило выполнить ряд важных статистических сопоставлений. Исторически первое и наиболее важное такое сопоставление было осуществлено в виде диаграммы, носящей имена Герцшпрунга и Рессела.

На этой диаграмме по горизонтальной оси откладывают спектральные классы (ранние слева, а поздние справа), а по вертикальной — абсолютные визуальные звездные величины, располагая звезды высокой светимости в верхней части диаграммы.

Можно откладывать по горизонтальной оси вместо спектральных классов показатели цвета, скажем, $B - V$, так, чтобы они возрастали слева направо. Иногда вместо абсолютных величин откладывают по вертикальной оси светимости в логарифмическом масштабе.

Каждая из звезд представляется на этой диаграмме точкой. Точки не заполняют всей диаграммы, а располагаются на ней последовательностями. Наиболее полное представление об этих последовательностях можно получить, если изобразить графически числовые данные, приведенные П. Г. Куликовским в табл. 72 книги «Справочник любителя астрономии», что и сделано нами на рис. 88. На этом рисунке выделены последовательности звезд различных классов светимости. Они уже были описаны выше, кроме последовательности бело-голубых звезд низкой светимости — белых карликов. Это «сверхплотные» звез-

ды, у которых средняя плотность вещества может доходить до 10^6 *г/см*^{3} и даже выше.

Диаграмме Герцшпрунга — Рессела обычно дается эволюционное толкование. Во время эволюции представляющая звезду точка описывает на ней определенный «трек», который можно

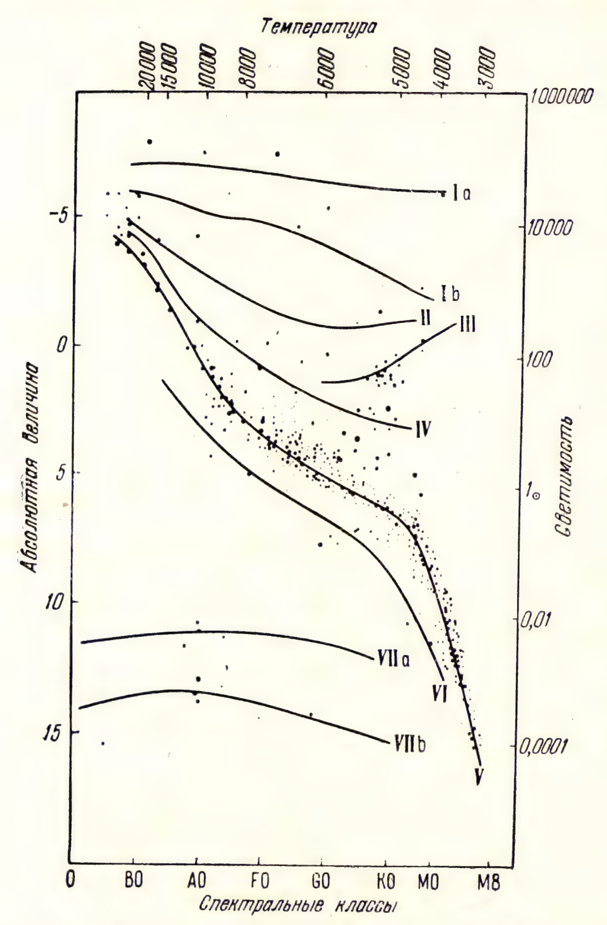


Рис. 88. Диаграмма Герцшпрунга — Рессела. Показаны также классы светимости.

рассчитать теоретически. По современным взглядам этот трек состоит из следующих частей. В начальной стадии гравитационного сжатия звезды точка выходит на диаграмму из правой ее части и опускается вниз до выхода на начальную главную последовательность. Затем начинается стадия «горения» водорода в звездных недрах и постепенного превращения его в гелий. Звезда надолго «застревает» на главной последовательности. После этого точка отходит от главной последовательности вверх,

так как звезда, отслаивая оболочку, превращается в гигант. После рассеяния оболочки в пространстве оголяется плотное ее ядро и звезда превращается в белый карлик.

Кроме того, при исследовании звездных движений и распределения звезд в Галактике выяснилось, что «звездное» население неоднородно по своему составу. Наряду с очень старыми звездами существуют и очень молодые. Так, звезды пониженной светимости, субкарлики, принадлежат к старым звездам. Они занимают на диаграмме иное положение по сравнению с обычными звездами главной последовательности.

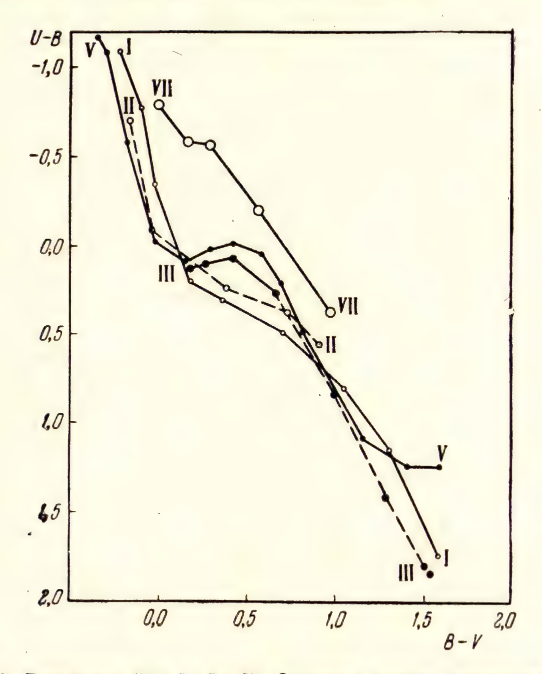


Рис. 89. Диаграмма ($U-B$, $B-V$). Отмечены классы светимости звезд.

Каждому участку эволюционного трека соответствует определенное время. Таким образом, изучая ту или иную совокупность звезд (например, звездное скопление), по виду характерной для него последовательности можно судить о возрасте данной группы.

Таковы главные применения диаграммы Герцшпрунга — Рессела.

Помимо этой диаграммы была построена другая — диаграмма показателей цвета. Откладывая по горизонтальной оси показатели цвета $B-V$, а по вертикальной $U-B$, представляют каждую звезду точкой. Оказалось, что точки не заполняют всей диаграммы, а также располагаются на ней в виде

дискретных последовательностей. Современные данные об этих последовательностях представлены П. Г. Куликовским в «Справочнике любителя астрономии» в табл. 75. Мы изобразили их на рис. 89.

Положение точки на этой диаграмме позволяет судить о том, к какой группе звезд относится исследуемая звезда. Однако на положение точки на диаграмме влияет межзвездное поглощение. Дело в том, что межзвездное поглощение неодинаково для различных лучей. Больше поглощаются фиолетовые лучи, меньше красные, еще меньше инфракрасные. Можно теоретически рассчитать «линии» покраснения на этой диаграмме. Это позволяет во многих случаях установить, насколько «краснее» данная звезда, если известен ее спектральный класс. Полное же поглощение связано с величиной покраснения определенным простым соотношением и, определив покраснение, мы можем узнать, насколько свет звезды ослаблен межзвездной средой.

§ 9. Фотометрические характеристики тел Солнечной системы

Основная задача планетной астрономии состоит в выяснении характера тех физических условий, которые господствуют на планетах и их спутниках. При решении этих задач применяются самые разнообразные методы, начиная от любительских зарисовок поверхности и вплоть до транспортировки на планеты автоматических приборов и посещения их поверхностей космонавтами.

Любителю астрономии приходится ограничиваться зарисовками вида поверхности планеты, иногда применяя при этих наблюдениях светофильтры. Достаточно ценные научные результаты могут быть получены любителем в области фотометрических исследований тел Солнечной системы. Поэтому далее приводятся основные сведения о фотометрических характеристиках небесных тел, рассеивающих солнечное излучение.

Общие понятия. Будем считать, что Луна и планеты имеют форму шара. Проведем на рис. 90 луч зрения, соединяющий земного наблюдателя с центром планеты. Там, где этот луч пересекает поверхность планеты, мы видим *центр* ее *диска C*. Проведем линию, соединяющую центр планеты с центром Солнца. В точке пересечения этой линии с поверхностью планеты расположен *полюс освещенности S*, или *подсолнечная точка*. Наблюдатель, находящийся в этой точке планеты, видел бы Солнце в зените. Полюс освещенности не совпадает, как правило, с центром *диска*. Возникает явление *фазы*. Линия, разделяющая освещенную и неосвещенную части поверхности планеты, называется *терминатором*. Положение терминатора зависит от фазового угла ψ. Большой круг, соединяющий на

поверхности планеты точки C и S, называется *экватором интенсивности.* Фазовый угол ψ измеряется дугой экватора интенсивности, заключенной между точками C и S, выраженной в градусной мере.

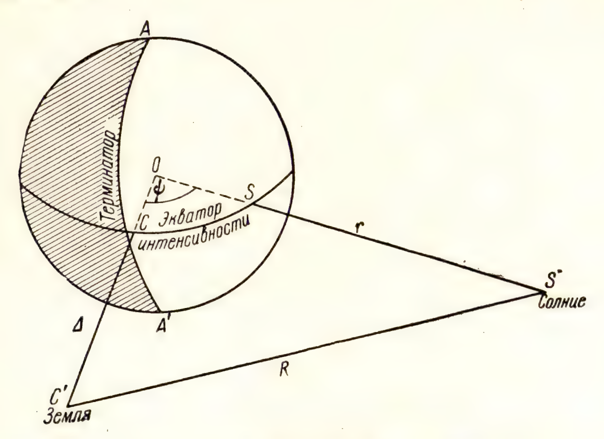


Рис. 90. К объяснению явления фазы.

Величиной фазы Ф называется отношение длин отрезков TL и BL; последний равен диаметру диска планеты (рис. 91). Величина фазы вычисляется по формуле

$$\Phi = \frac{1}{2}(1 + \cos\psi) = \cos^2\frac{\psi}{2}. \qquad (3.43)$$

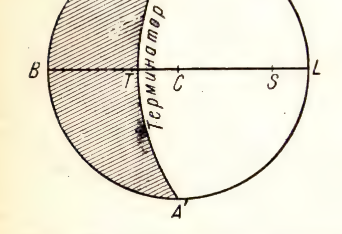


Рис. 91. К определению величины фазы.

Величину фазового угла ψ можно вычислить по формуле

$$\cos\psi = \frac{\Delta^2 + r^2 - R^2}{2r\Delta}, \qquad (3.44)$$

в которую входят расстояние планеты от Солнца r, расстояние планеты от Земли Δ и расстояние Земли от Солнца R. Эта формула может быть легко получена из треугольника $OC'S'$ (см. рис. 90), в котором S' — Солнце, O — центр планеты и C' — Земля. Формула неудобна для логарифмических вычислений и может быть заменена другой:

$$\sin\frac{\psi}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{(R + \Delta - r)(R + r - \Delta)}{r\Delta}}. \qquad (3.45)$$

Для использования этих формул необходимо знать расстояния.

Немного иначе обстоит дело с вычислением фазового угла Луны. Дело в том, что в астрономических календарях не при-

водятся расстояния Луны от Солнца. Фазовый угол Луны можно вычислять по формулам

$$\operatorname{tg}\psi=\frac{\sin\gamma}{\frac{\Delta}{R}-\cos\gamma};\quad \cos\gamma=\cos(\lambda_{\odot}-\lambda)\cos\beta, \qquad (3.46)$$

где λ — астрономическая (эклиптикальная) долгота центра Луны, $\lambda_{\odot}$ — астрономическая долгота Солнца и β — астрономическая широта центра Луны.

Общее количество света, воспринимаемое земным наблюдателем, — блеск планеты, — зависит от ее расстояния от Солнца r, от площади диска $\pi D^2/4$, от расстояния планеты от Земли Δ и от отражательной способности ее поверхности, характеризуемой величиной Г. Блеск L выражается формулой

$$L=\Gamma\frac{\pi D^2}{4}\frac{I}{r^2\Delta^2}f(\psi), \qquad (3.47)$$

в которую входят также «световая солнечная постоянная» I и функция фазы $f(\psi)$. Последняя функция требует дополнительного определения.

Обозначим через $m(\psi)$ ту звездную величину, которую имеет планета при заданном угле фазы ψ; через $m(0)$ обозначим звездную величину, которую имела бы планета при прочих равных условиях (т. е. при тех же r и Δ), если бы угол фазы был равен нулю. Тогда должна быть справедлива легко выводимая формула

$$m(\psi)=m(0)-2{,}5\lg f(\psi). \qquad (3.48)$$

Обычно ее представляют в упрощенном виде

$$m(\psi)=m(0)+k\psi+l\psi^2, \qquad (3.49)$$

где k и l — коэффициенты, определяемые из наблюдений.

Величина Г показывает, что поверхность планеты рассеивает не весь падающий на нее свет, а часть его поглощает.

Таблица XVI

Планета или спутник	Альбедо	Планета или спутник	Альбедо	Планета или спутник	Альбедо
Меркурий	0,056	Луна	0,067	Рея	0,48
Венера	0,76	Ио	0,54	Титан	0,12
Земля	0,36	Европа	0,49	Тритон	0,21
Марс	0,16	Ганимед	0,29	Церера	0,08
Юпитер	0,73	Каллисто	0,15	Паллада	0,11
Сатурн	0,76	Мимас	0,29	Юнона	0,29
Уран	0,93	Энцелад	0,32	Веста	0,31
Нептун	0,84	Тефия	0,49		
Плутон	0,14	Диона	0,55		

Отражательная способность планеты характеризуется сферическим альбедо (см. § 1).

Сферическое альбедо некоторых небесных тел приведено в табл. XVI.

Вполне естественно, что альбедо зависит от длины волны; в табл. XVI приведены альбедо в лучах V.

Из этой таблицы видно, что большие планеты, обладающие мощными атмосферами, имеют большое альбедо, а ряд планет, в том числе и астероиды, — малыми. Замечательно и то, что некоторые спутники имеют большие альбедо!

Рассмотрим теперь основные законы рассеяния света матовыми поверхностями.

Возьмем на отражающей свет поверхности площадку размерами ΔS (рис. 92). Для простоты будем считать, что площадка имеет прямоугольную форму. В центре площадки восставим перпендикуляр к ее плоскости — нормаль. Пусть на площадку падает параллельный пучок лучей и его направление составляет с направлением нормали угол i. Если бы площадка была перпендикулярна к направлению падающих лучей, то на единицу площади падало бы количество света, равное I; площадка помещена наклонно, и это же количество излучения распределится на бо́льшую площадь, которая больше поперечного сечения пучка в $\sec i$ раз. Поэтому освещенность площадки будет равна не I, а $I \cos i$ (см. § 1). Допустим, что площадка рассеивает излучение во все стороны равномерно. Тогда ее яркость в направлении, составляющем угол ε с направлением нормали, пропорциональна $\cos \varepsilon$ (см. § 1). Если к тому же мы учтем, что часть света площадкой поглощена, то нам придется ввести коэффициент отражательной способности C (меньший единицы) и мы получим формулу

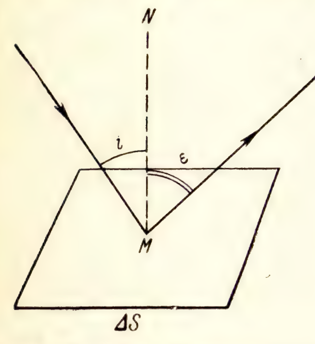


Рис. 92. Закон рассеяния света Ламберта.

$$Q = CI \cos i \cos \varepsilon \, \Delta S, \tag{3.50}$$

которая выражает *закон рассеяния света Ламберта.* При этом приходится считать, что площадка гладкая и что свет в глубь поверхности не проникает, рассеиваясь от поверхностных слоев.

Более точная теория рассеяния света очень сложна и мы ограничимся здесь только некоторыми общими замечаниями. Во-первых, свет рассеивается в разные стороны неравномерно. Закон рассеяния света описывается *индикатрисой рассеяния.* Допустим, что на какую-то частицу падает пучок параллельных лучей в направлении AB. Частица, находящаяся в точке B, рассеивает свет в разные стороны. Если из точки B проведем пучок

линий по разным направлениям и на каждой из линий отложим отрезок, пропорциональный количеству рассеянного в данном направлении света, то получится некая поверхность, которая и будет индикатрисой. На рис. 93 изображена индикатриса рассеяния света каплей воды.

Во-вторых, излучение проникает в более глубокие слои, но, конечно, ослабляется за счет поглощения в верхних слоях. Рассеяние производится не только поверхностью, но и более глубокими слоями. Учет этого рассеяния в принципе возможен, но приводит к очень громоздким формулам.

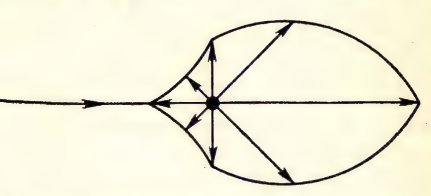


Рис. 93. Индикатриса рассеяния света каплей воды.

В-третьих, что особенно важно при изучении планет, сильное влияние оказывает «шероховатость» поверхностей, так сказать, «микрорельеф». Например, хорошо известно, что никаких бликов от солнечного излучения на поверхности Луны не возникает и яркость возрастает в полнолуние по всему лунному диску, что свидетельствует о крайней «шероховатости» лунного грунта, что было доказано прямыми экспериментами на поверхности Луны!

Для планет было введено понятие о *факторе гладкости*. Реальный закон рассеяния света земными образцами привел к формуле для «планетного» закона рассеяния света, согласно которому яркость участка планеты имеет вид

$$B = B_0 \cos^q i. \tag{3.51}$$

Показатель q — фактор гладкости поверхности планеты. Величина q больше единицы для полированных поверхностей. Она меньше единицы для горных пород, гравия, песка и изрытой поверхности. При $q = 1$ формула принимает вид закона Ламберта. Исследования показали, что у материков Марса фактор гладкости 1,16, у морей 1,08. Фактор гладкости у Луны равен нулю.

Фотометрические свойства Луны. Луна обладает совершенно исключительными фотометрическими свойствами и потому мы остановимся на их описании несколько подробнее.

Общий блеск Луны изменяется в зависимости от фазового угла таким образом, что при фазе, равной нулю, т. е. в полнолуние, кривая блеска имеет резкий пик. Это можно видеть из табл. XVII, где приведены результаты определений, выполненных Ружье. В ней приведены фазовые углы ψ, блеск L, выраженный в условных единицах (для него принято значение, равное 1000 в момент полнолуния), и разности звездных величин Δm. Максимальный блеск Луны, выраженный в фотовизуальной системе, эквивалентен блеску звезды — 12,67 зв. вел.

Таблица XVII

ψ	Прибывающая Луна		Убывающая Луна		ψ	Прибывающая Луна		Убывающая Луна	
	L	Δm	L	Δm		L	Δm	L	Δm
0°	1000	0,00	1000	0,00	80°	120	2,30	111	2,39
10	787	0,26	759	0,30	90	83	2,71	78	2,77
20	603	0,55	586	0,58	100	56	3,13	58	3,09
30	466	0,83	425	0,86	110	38	3,56	41	3,48
40	365	1,12	350	1,14	120	25	4,01	26	3,91
50	273	1,40	273	1,41	130	15	4,55	16	4,50
60	210	1,69	212	1,69	140	—	—	9	5,09
70	161	1,98	157	2,02	150	—	—	5	5,86

Из этой таблицы также следует, что кривая блеска Луны не вполне симметрична относительно полнолуния.

Кривую блеска можно формально представить эмпирической, трудно объяснимой теоретически, формулой

$$\Delta m = 3{,}05\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right) - 1{,}02\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right)^2 + 1{,}05\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right)^3.$$

Сферическое альбедо Луны зависит от длины волны, что можно видеть из табл. XVIII.

Таблица XVIII

λ	A_c	λ	A_c
430	0,041	560	0,074
510	0,047	730	0,090

Из этой таблицы видно, что поверхность Луны рассеивает менее 10% падающего на нее света, причем рассеянный свет должен иметь красноватый оттенок.

Нормальные визуальные альбедо отдельных деталей лунной поверхности отличаются в три раза. Наиболее ярким является кратер Аристарх. Его нормальное альбедо 0,176. Самая темная точка лунного диска помещается внутри Океана Бурь; ее альбедо равно 0,051.

Все детали лунного диска, независимо от их селенографических долгот и широт, достигают максимальной яркости одновременно, в полнолуние. В этом, пожалуй, и состоит самое основное свойство лунной поверхности. Кривые изменения яркости любой площадки лунного диска в зависимости от фазового угла сходны между собой тем, что максимум достигается при фазовом угле, равном нулю, хотя в деталях они и отличаются друг от друга. Такое явление возникает в результате крайней шероховатости, или пористости, лунного грунта.

Рассеянный поверхностью Луны свет частично поляризован, причем поляризация зависит от угла фазы.

Фотометрические свойства планет, спутников и астероидов. Каждое из этих небесных тел характеризуется блеском, который подвержен значительным изменениям по двум причинам. Во-первых, при движении этих тел по орбитам существенно изменяются их расстояния от наблюдателя и несколько менее существенно — расстояние от Солнца. Во-вторых, они подобно Луне имеют фазы, что также отражается на величине блеска. Есть еще одна причина периодических колебаний блеска некоторых небесных тел — осевое вращение.

Мы видели, что блеск планеты выражается формулой (3.47):

$$L = \Gamma \frac{\pi D^2}{4} \frac{I}{r^2 \Delta^2} f(\psi).$$

Обозначим через $L_{абс}$ тот блеск, который имела бы планета, находясь на расстоянии r от Солнца, равном одной астрономической единице, и на таком же расстоянии Δ от Земли; назовем этот блеск абсолютным. Тогда

$$L_{абс} = \Gamma \frac{\pi D^2}{4} I f(\psi).$$

Поделив эти два выражения одно на другое, получим основное соотношение, в которое введена «абсолютная звездная величина» планеты, обозначенная через g:

$$\frac{L}{L_{абс}} = \frac{1}{r^2 \Delta^2} = 2{,}512^{g-m}.$$

Логарифмируя и произведя преобразования, получим окончательное выражение для видимой звездной величины планеты:

$$m = g + 5 \lg \Delta + 5 \lg r. \qquad (3.52)$$

Допустим теперь, что в нашем распоряжении находится более или менее длинный ряд наблюдений видимой звездной величины планеты. Так как расстояния r и Δ хорошо известны, мы можем исключить при помощи формулы (3.52) расстояние и тогда по разностям между видимыми и вычисленными звездными величинами будем судить об изменении блеска планеты в зависимости от угла фазы.

Фаза заметно изменяется у близких к Земле планет и у спутников даже очень далеких планет. В табл. XIX приведены эмпирические коэффициенты функций фазы для некоторых планет и спутников. Сама функция фазы принята такой:

$$\Delta m(\psi) = a\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right) + b\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right)^2 + c\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right)^3. \qquad (3.53)$$

У Каллисто фазовые изменения носят исключительно интересный характер. Очевидно, что яркость распределена по поверхности спутника с большими неправильностями.

Таблица XIX

Название планеты или спутника	a	b	c	Название планеты или спутника	a	b	c
Меркурий	3,80	−2,73	+2,00	Ио	4,6	−10	
Венера	0,09	+2,39	−0,65	Европа	3,12	−12,5	
Земля	1,30	+0,19	+0,48	Ганимед	32,6	−6,6	
Марс	3,05	−1,02	+1,05	Каллисто	7,8	?	

Функция фазы Земли определена на основании исследования яркости пепельного света Луны.

Исследование распределения яркости по диску планет — проблема очень трудная и вряд ли доступная для исследования любителями астрономии. Поэтому мы отсылаем читателя к специальным руководствам и монографиям.

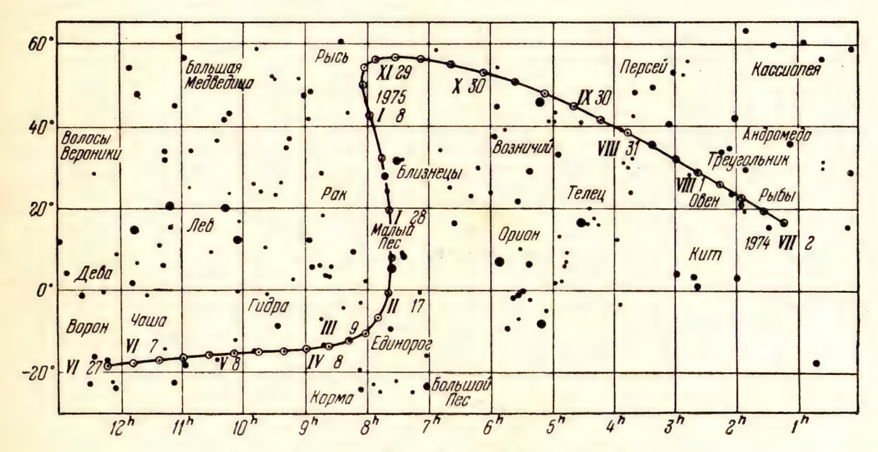


Рис. 94. Видимый путь Эроса в 1974—1975 гг.

Остановимся в заключение на фотометрических свойствах астероидов. Каждый из них характеризуется абсолютной звездной величиной g. Отклонения от формулы (3.52) позволяют изучить их фазовые функции, так же как у больших планет. Различаются астероиды и по своим показателям цвета. Однако наибольший интерес представляет исследование изменения их блеска, возникающего в результате осевого вращения. В настоящее время известно, что ряд астероидов изменяет свой блеск, но амплитуды сравнительно невелики, так что их надо изучать фотоэлектрически. Один астероид особо выделяется из всей массы малых планет своей исключительно большой амплитудой изменения блеска. Это астероид Эрос, движущийся по очень вытянутой орбите. Сравнительно редко наблюдаются ве-

ликие противостояния Эроса, когда он может подходить к Земле на расстояние, близкое к 20 млн. *км*. Такое великое противостояние произойдет в 1974—1975 гг. Ожидаемый путь Эроса изображен на рис. 94. Астероид за год пройдет по небу огромную дугу, что чрезвычайно важно для его наблюдений. В результате осевого вращения «грушевидного» тела астероида он будет изменять свой блеск с периодом, равным 5 часам 16 минутам. Типовая кривая блеска изображена на рис. 95. При этом, при перемещении астероида по небесной сфере будет изменяться амплитуда. В тот момент, когда луч зрения станет перпендикулярным к оси вращения, амплитуда достигнет 1,5 зв. вел. Так как астероид будет достаточно ярким и его блеск будет сравним с блеском звезд 7—8 зв. вел., то хорошо организованные наблюдения позволят по изменению амплитуды колебаний блеска определить направление оси вращения астероида. При этом удастся установить, изменилось ли это направление со времени великого противостояния 1930—1931 гг., которое детально наблюдалось.

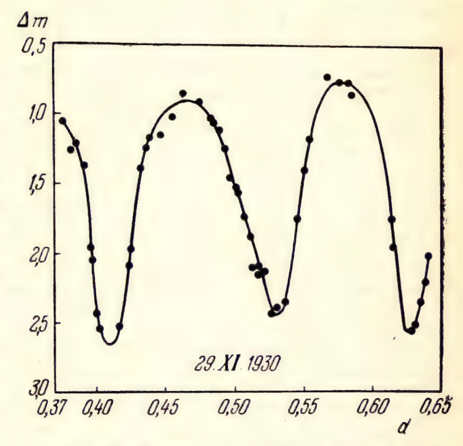


Рис. 95. Кривая изменения блеска Эроса.

§ 10. Понятие о методах радиоастрономии

Методами радиоастрономии исследуется космическое излучение с длинами волн от нескольких десятых долей миллиметра (субмиллиметровый диапазон) до нескольких сотен метров. Коротковолновая сторона смыкается с инфракрасным диапазоном, а длинноволновая ограничивается сильным поглощением низкочастотных радиоволн в межзвездной плазме. Весь этот участок электромагнитного спектра содержит более двадцати октав (одной октаве соответствует изменение длины волны, а также частоты в 2 раза). Таким образом, радиодиапазон, используемый в астрономии, во много раз превышает оптический, на который приходится менее одной октавы! Сантиметровый, дециметровый и метровый участки спектра беспрепятственно проходят через земную атмосферу. Волны короче 1,25 *см* в той или иной степени поглощаются молекулами кислорода и водяных паров, так что наблюдениям с Земли доступны лишь некоторые узкие участки спектра, да и то в условиях пониженной влажности.

Радиоволны длиннее 15—30 *м* отражаются земной атмосферой и доступны только внеатмосферным наблюдениям.

Источниками космического радиоизлучения являются практически все астрономические объекты: звезды, галактики, межзвездная среда, атмосферы планет и т. д. Во многих случаях это излучение является тепловым, т. е. возникает в результате столкновений электронов с протонами плазмы, происходящих при тепловых движениях. Типичными примерами источников теплового излучения могут служить Солнце, ионизованный водород межзвездной среды, отдельные газовые туманности.

Важной разновидностью теплового излучения является монохроматическая эмиссия нейтрального водорода на частоте 1420,4 *Мгц* (21 *см*). Оно возникает в результате взаимодействия электронов и протонов в атоме. Даже при самых низких температурах (вблизи абсолютного нуля) у большинства атомов газообразного водорода электрон обладает энергией, превышающей энергию электронов у остальной части атомов на 6 миллионных долей электрон-вольта. С этим ничтожным избытком энергии водородный атом в вакууме способен «прожить» в среднем 11 млн. лет, а в межзвездной среде это время вследствие столкновений между атомами уменьшается до 10 лет. За это время вращательный момент количества движения электрона (*спин*) меняет свое направление на противоположное по отношению к магнитному моменту протона. Если бы электрон и протон можно было уподобить вращающимся волчкам, то это означало бы, что первоначально они вращались в одну сторону, а в конце электрон переворачивается и они вращаются в разные стороны. В каждом случае при этом происходит излучение кванта с энергией $h\nu = 6 \cdot 10^{-6}$ *эв*, т. е. в линии $\lambda = 21$ *см*.

Радиоизлучение на волне 21 *см* позволяет исследовать водород, недоступный никаким другим методам наблюдений, находящийся в самых холодных и «темных» областях нашей Галактики и тем не менее занимающий подавляющую часть плоской ее составляющей.

В некоторых случаях мощность наблюдаемого радиоизлучения оказывается значительно больше возможного верхнего предела теплового радиоизлучения при данной температуре. Так, например, во время больших всплесков мощность радиоизлучения Солнца в тысячи раз превосходит «спокойное» излучение солнечной короны. В подобных случаях радиоизлучение имеет совсем иную, так называемую нетепловую природу. Наиболее мощными источниками нетеплового радиоизлучения во Вселенной являются квазары, галактики (особенно радиогалактики), а в нашей звездной системе туманности — остатки сверхновых звезд, пульсары и быстрые электроны межзвездной среды.

Нетепловое радиоизлучение может возникать в результате одного из нескольких специальных процессов, из которых мы упомянем наиболее часто встречающиеся:

1. Синхротронное излучение (т. е. излучение типа, впервые наблюдавшегося в синхротроне) — излучающие электроны, движение которых происходит под действием магнитного поля по спиральной траектории, навивающейся на магнитные силовые линии, обладают очень большими энергиями, так что приходится учитывать эффекты, следующие из специальной теории относительности. Такие релятивистские электроны излучают только в узком конусе в направлении своего движения. Если



Рис. 96. Параболическая антенна радиотелескопа РТ-22 (диаметр 22 *м*) Горьковского института радиофизики.

в излучающем объекте имеется преимущественное направление магнитного поля, то это излучение оказывается поляризованным.

2. Электромагнитное излучение, вызванное одновременными одинаковыми колебаниями многих заряженных частиц (в первую очередь электронов) в плазме (плазменные волны). Как известно, плазмой называется газ, атомы которого ионизованы, а «оторванные» электроны движутся наравне с ними как свободные частицы.

3. Электромагнитное излучение, вызванное одновременными одинаковыми колебаниями электронов во многих атомах и молекулах. Это излучение создает очень мощное монохроматическое излучение и подобно излучению лазера.

Для приема и измерения мощности космического радиоизлучения служит специальный инструмент — *радиотелескоп.* Он состоит из антенны, собирающей излучение с определенной площади, характеризуемой *эффективной площадью антенны* A, и приемника, на вход которого поступает излучение, собранное антенной. В радиоастрономии применяются антенны самых различных типов. Основным и простейшим видом антенн является параболическое зеркало (рис. 96), в фокусе которого собирается энергия далекого источника (подобно оптическому телескопу).

Эффективная площадь антенны A зависит от направления, из которого приходит регистрируемое излучение. Полярная диаграмма, изображающая зависимость $G(\varphi, \theta) = \frac{4\pi}{\lambda^2} A(\theta, \varphi)$, где θ и φ — углы, характеризующие направление на источник, а λ — длина волны, называется *диаграммой направленности.* В центре диаграммы ($\theta = \varphi = 0$) эффективная площадь антенны максимальна и равна A_0. Эта величина A_0, выраженная в квадратных метрах, является важнейшей характеристикой радиотелескопа. Для параболической антенны $A_0 = \pi/8D^2$, где D — диаметр зеркала.

На рисунке 97 изображено сечение типичной диаграммы направленности некоторой плоскостью, проходящей через направление, в котором $A(\theta, \varphi)$ максимальна и равна A_0. Как видно, она состоит из главного и боковых лепестков. Направленность антенны обычно характеризуют полушириной главного лепестка, т. е. углом δ на рис. 97 между точками диаграммы, где $A = {}^1/_2 A_0$.

Для антенны в виде параболического зеркала диаметром D диаграмма симметрична относительно направления A_0 и все сечения типа, изображенного на рис. 97, одинаковы. Аналогично разрешающей способности оптического объекта полуширина составляет

$$\delta \approx \frac{\lambda}{D}.$$

Рис. 97. Диаграмма направленности антенны.

Крупнейшей антенной такого типа является неподвижная 300-*м* чаша радиотелескопа в Аресибо (Пуэрто-Рико), смонтированная в кратере потухшего вулкана. На волне 70 *см* она дает разрешение 10′. Для получения очень узких диаграмм направленности используются системы нескольких антенн, разнесенных на большие расстояния (*радиоинтерферометры*).

Радиоинтерферометры, состоящие из двух антенн, удаленных на расстояние d, имеют диаграммы направленности в виде плоских лепестков, ширина которых примерно такая же, как у це-

лого параболоида диаметра d, а длина определяется разрешением одной антенны («*ножевая*» *диаграмма*).

В последнее время осуществляются интерферометры с очень большими базами, вплоть до диаметра Земли (*глобальные интерферометры*). Для этого с помощью очень точных часов синхронизуются сигналы, принимаемые двумя большими радиотелескопами, нередко принадлежащими различным государствам. Такая методика позволяет достигнуть недоступного наземным оптическим телескопам разрешения до $0'',001$ и выше!

Главными параметрами, измеряемыми радиотелескопом, являются F_ν — спектральная плотность потока энергии от источника (измеряемая полной мощностью от источника в ваттах, падающей на 1 кв. *м* поверхности в точке наблюдения при полосе приемника 1 *гц*), и I_ν — интенсивность, характеризующая распределение радиояркости по источнику (размерность *вт/м*^{2}·*гц*·*стерад*, т. е. поток излучения, приходящий из единицы телесного угла).

Поглощенная антенной мощность $P_{\text{погл}}$ определяется как

$$P_{\text{погл}} = F_\nu A_0 \, \Delta\nu,$$

где $\Delta\nu$ — интервал принимаемых частот; при этом предполагается, что телесный угол, под которым виден источник Ω, меньше телесного угла главного лепестка антенны $\Omega_a = \lambda^2/A_0$.

Если угловые размеры источника Ω больше ширины главного лепестка антенны Ω_a, то

$$P_{\text{погл}} = I_\nu \Omega_a A_0 \, \Delta\nu = I_\nu \lambda^2 \, \Delta\nu.$$

Чувствительность радиотелескопа определяется минимальным значением величины F_ν, которое может быть зарегистрировано. Ее можно оценить по формуле

$$\Delta F_\nu \geqslant \frac{2kT}{A_0 \sqrt{\Delta\nu\tau}},$$

в которой τ — постоянная времени регистрирующего прибора, k — постоянная Больцмана, T — «температура шумов», характеризующая шумы приемника, мощность которых равна

$$P_0 = kT \, \Delta\nu.$$

При $T = 900\,°\text{K}$ $\Delta\nu = 1$ *Мгц* и $\tau = 100$ *сек* радиотелескоп с антенной в виде параболоида диаметром 20 *м* ($A_0 = 150$ *м*^{2}) может зарегистрировать поток радиоизлучения

$$2 \cdot 10^{-26} \text{ вт/м}^2 \cdot \text{гц}.$$

Эта чувствительность достигается на пределе возможностей обычных приемников супергетеродинного типа. Однако прием-

ники прямого усиления с лампами бегущей волны, а также молекулярные и параметрические усилители позволяют снизить ΔF_ν на порядок.

Наряду с непосредственной задачей радиоастрономии — измерением мощности космического радиоизлучения — важную роль играет применение методов *радиолокации.* В начале развития радиоастрономии оно ограничивалось наблюдением сигналов, отраженных от метеоров. В последнее время удалось получить отраженные сигналы от Луны, Венеры и Марса, Юпитера и даже Солнца. Анализ отраженных сигналов позволяет уточнить расстояния, скорость вращения планет вокруг оси и некоторые свойства поверхности, как, например, в случае Луны; исследовать движение и физические параметры вещества на Солнце.

Глава IV

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ И РАБОТА С НИМИ

§ 1. Некоторые сведения из геометрической оптики

Рассмотрим двояковыпуклую линзу, обе поверхности которой являются сферическими. Прямая, на которой лежат центры кривизны этих сфер, являющаяся осью симметрии линзы, называется *главной оптической осью.* Перпендикулярная ей плоскость симметрии линзы делит пространство на две части. Та из них, в

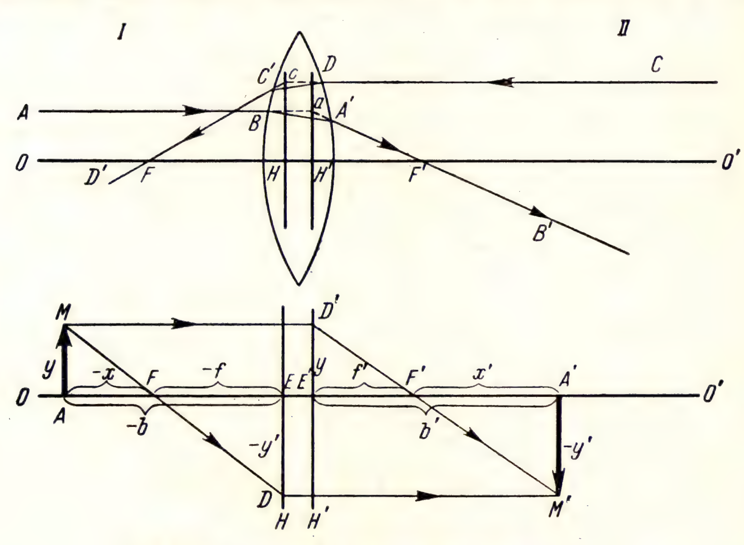


Рис. 98. Ход лучей в двояковыпуклой линзе.

которой расположен объект, называется *пространством предметов,* другая, в которой расположено изображение, — *пространством изображений.* В первой все отрезки считаются отрицательными, во второй — положительными.

Построим ход лучей через линзу. Если направить луч AB (рис. 98) из пространства предметов I параллельно главной оптической оси OO', то после преломления он пойдет по направлению $A'B'$ в пространстве изображений II и пересечет ось OO' в точке F'. Здесь же соберутся (если пренебречь сферической

аберрацией) и другие лучи, входящие в параллельный пучок, заданный направлением AB. Точка F' называется *задним главным фокусом* системы. Направим теперь луч CD, параллельный OO', из пространства изображений II в пространство предметов I; по выходе из линзы он пойдет по направлению $C'D'$ и пересечет OO' в точке F. Сюда же соберутся и все лучи, параллельные OO'. Эта точка F называется *передним главным фокусом.*

Продолжим лучи AB и $A'B'$ до их пересечения в точке a. Проведем через точку a плоскость H', перпендикулярную к главной оптической оси. Эта плоскость называется *задней главной плоскостью.* Аналогичным построением, продолжив лучи CD и $C'D'$ до пересечения в точке c, получим плоскость H — *переднюю главную плоскость.* Таким образом, можно каждую линзу заменить двумя ее главным плоскостями.

Построим, пользуясь главными плоскостями, изображение предмета, создаваемое двояковыпуклой линзой. Пусть OO' — главная оптическая ось, H и H' — главные плоскости и в точке A расположен предмет AM так, что AM параллельно H и H'. Из точки M направляем два луча: MD', параллельный OO', и MD, проходящий через передний главный фокус. Дальнейший ход лучей ясен из рис. 98. В плоскости $A'M'$ образуется действительное перевернутое изображение предмета.

Выведем формулы, связывающие величины отрезков; при этом надо обратить внимание на знаки отрезков, показанные на рис. 98.

Из подобия треугольников AMF, FED, $D'E'F'$, $F'A'M'$ следует:

$$-\frac{y'}{y}=\frac{f}{x}=\frac{x'}{f'}$$

так что

$$x\cdot x'=f\cdot f'.$$

Далее, поскольку $x=b-f$ и $x'=b'-f'$, имеем

$$\frac{f'}{b'}+\frac{f}{b}=1.$$

Если показатели преломления сред в пространстве предметов и изображений одинаковы, то $f'=-f$ и

$$\frac{1}{b'}-\frac{1}{b}=\frac{1}{f'} \quad \text{или} \quad \frac{1}{b'}+\frac{1}{|b|}=\frac{1}{f'}. \tag{4.1}$$

Выведенные соотношения справедливы не только для простой линзы, но и для любой центрированной оптической системы, оптические оси всех элементов которой совпадают. Примером такой системы могут служить, например, две линзы с фокусными расстояниями f_1 и f_2, удаленные друг от друга на расстояние $d\,(d<f_1f_2)$. Эквивалентный фокус такой системы F определяется

формулой

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}-\frac{d}{f_1 f_2}. \qquad (4.2)$$

Фокусное расстояние отдельной линзы зависит от показателя преломления n стекла, из которого она изготовлена, и радиусов кривизны обеих ее поверхностей R_1 и R_2:

$$f'=\frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)}, \quad f=-f'. \qquad (4.3)$$

§ 2. Рефрактор

Телескоп, основанный на применении линзовой оптики, называется *рефрактором*. Главная его часть — *объектив* — составная двояковыпуклая линза, укрепленная в передней, обращенной к наблюдаемому объекту части трубы. Объектив изготовляется из хорошего оптического стекла, по возможности лишенного неоднородностей. При расчете объектива стремятся сделать поверхности линз сферическими. Объектив создает изображение бесконечно удаленной точки, расположенной на главной оптической оси, в главном фокусе F'. Расстояние от объектива до главного фокуса называется *главным фокусным расстоянием*. Изображение бесконечно удаленного предмета образуется в плоскости, перпендикулярной к главной оптической оси. Эта плоскость проходит через точку F' и называется *главной фокальной плоскостью*. Если в главной фокальной плоскости поместить фотографическую пластинку, то может быть получена фотография небесного объекта. К фотографическим объективам предъявляются особые требования (например, хорошее поле), если хотят получить снимок большой области звездного неба.

Изображение, созданное объективом, рассматривается при помощи окуляра, также состоящего из комбинации линз. Окуляры можно менять, в результате чего при одном и том же объективе меняется увеличение телескопа (см. § 4).

§ 3. Зрачки входа и выхода

Объектив состоит из линз, имеющих ограниченные поперечные размеры. Поэтому из пучка лучей, идущих от небесного светила, объектив вырезает некоторую часть. То отверстие, которое фактически ограничивает эту часть, называется *зрачком входа*. Толщина линз объектива рефрактора сравнительно мала, так что можно принимать, что входной зрачок и по положению и по размерам совпадает с оправой объектива.

У фотографических же объективов это зачастую бывает не так. Чтобы найти световой пучок, фактически попадающий в объектив в этом случае, надо построить изображение апертурной

диафрагмы (в фотографических объективах она обычно расположена между линзами) всей предшествующей ей частью оптической системы.

Пучки лучей, поступающие в объектив наклонно к главной оптической оси, частично закрываются диафрагмой, что приводит к ослаблению яркости изображения. Это называется *виньетированием.* Оно приводит к появлению фотометрической ошибки поля, что сказывается на фотографических снимках больших областей звездного неба, полученных широкоугольными объективами. Таким образом, каждый объектив должен быть исследован; должна быть определена ошибка поля в зависимости от расстояния от оптического центра снимка.

Зрачком выхода называется изображение входного зрачка, создаваемое всей системой. Весь свет, вошедший в телескоп через его входной зрачок, выходит из него через зрачок выхода (если пренебречь поглощением в оптике).

Рассматривая небесное светило в телескоп, мы устанавливаем окуляр в такое положение, при котором из него выходит параллельный пучок лучей. Поэтому роль телескопа сводится к превращению параллельного пучка лучей в параллельный же, но более узкий. Это имеет место в том случае, если задний главный фокус объектива совмещен с передним главным фокусом окуляра, если взять положительный окуляр (см. § 8). На рис. 99

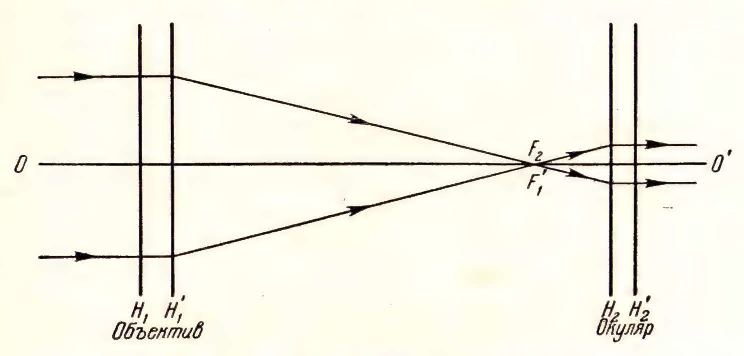


Рис. 99. Ход лучей в телескопической системе.

показан ход лучей в такой телескопической системе, где объектив заменен его главными плоскостями H_1 и H_1', а окуляр — главными плоскостями H_2 и H_2'. Точка $F_1' = F_2$ — точка совмещения заднего главного фокуса объектива и переднего главного фокуса окуляра. Из рисунка видно, что попадающий в объектив широкий пучок лучей превращается в узкий, выходящий из окуляра в глаз наблюдателя.

Чтобы рассчитать положение выходного зрачка и его диаметр, надо построить его изображение, создаваемое окуляром. На рис. 100 принято, что входной зрачок совпадает с оправой

объектива; его диаметр обозначим через D. Окуляр заменен его главными плоскостями. Проводим два луча — один параллельно главной оптической оси, а другой через передний фокус окуляра. В результате мы получаем в пространстве изображений окуляра зрачок выхода, имеющий диаметр d.

Из подобия треугольников, имеющих общую вершину в точке F_1', находим

$$\frac{d}{D} = \frac{f_2}{f_1'}, \tag{4.4}$$

где f_1' — главное фокусное расстояние объектива, а f_2 — переднее главное фокусное расстояние окуляра. По этой формуле мы вычисляем диаметр выходного зрачка d.

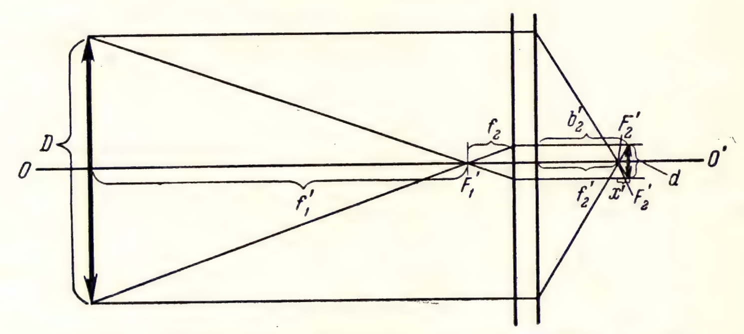


Рис. 100. К определению размеров и положения выходного зрачка.

Из подобия треугольников, имеющих общую вершину в точке F_2', имеем соотношение

$$\frac{x'}{f_2'} = \frac{d}{D},$$

где f_2' — заднее главное фокусное расстояние окуляра, а x' — расстояние от заднего главного фокуса окуляра до изображения выходного зрачка. Использовав формулу (4.4), получим

$$x' = f_2' \frac{d}{D} = \frac{f_1' f_2}{f_1'}. \tag{4.5}$$

Следовательно, расстояние от задней главной плоскости окуляра до изображения выходного зрачка равно

$$b_2' = f_2' + x' = f_2'\left(1 + \frac{f_2}{f_1'}\right). \tag{4.6}$$

Как найти положение выходного зрачка опытным путем? Для этого наводим телескоп, предварительно отфокусировав окуляр на наибольшую резкость изображений, на яркий фон дневного неба и помещаем за окуляром полупрозрачный экран (кусок

кальки). Перемещая кальку, т. е. придвигая ее к окуляру и отодвигая от него, мы найдем такое ее положение, при котором освещенный кружок будет наиболее резким, без размытых краев, и при этом наименьшего диаметра. Это и будет выходной зрачок.

Из формулы (4.4) видно, что для каждого окуляра характерна своя величина диаметра выходного зрачка. Если он окажется бо́льшим, чем диаметр зрачка «среднего» человеческого глаза, то не весь собранный объективом свет попадет в глаз наблюдателя. Следовательно, выбор окуляра со слишком большим f_2 приведет к искусственному диафрагмированию объектива и мы ухудшим условия наблюдений, так как не сможем видеть слабые объекты. Поэтому при выборе окуляра мы должны руководствоваться формулой (4.4) и подбирать такое f_2, чтобы выходной зрачок имел диаметр меньший, чем диаметр зрачка наблюдателя. Мы увидим далее, что применять окуляры, дающие очень малые увеличения, невыгодно.

Чтобы можно было совместить зрачок выхода со зрачком глаза наблюдателя, на каждом окуляре установлено «окулярное окно» — диафрагма, отстоящая от линз на такое расстояние, на какое от них удален выходной зрачок.

§ 4. Масштаб изображения и увеличение телескопа

Мы уже говорили, что при помощи объектива (без применения окуляра) можно получить фокальный снимок. Изображение точки, лежащей на главной оптической оси, попадет в центр снимка. Изображения остальных точек расположатся на побочных оптических осях.

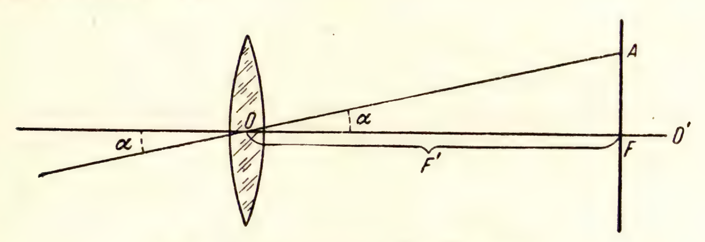


Рис. 101. Определение масштаба снимка.

Определим расстояние на снимке двух объектов, которые удалены на небесной сфере друг от друга на угол, равный α. Решая треугольник OAF (рис. 101), находим $AF = F' \operatorname{tg} \alpha$, или, заменив тангенс малого угла дугой, выраженной в радианной мере, а затем учтя, что один радиан равен 57°,3, получим

$$AF = F' \cdot \alpha = F' \frac{\alpha^\circ}{57^\circ{,}3}. \qquad (4.7)$$

Это соотношение позволяет оценить масштаб снимка. Итак, для того, чтобы получить линейное расстояние на снимке между изображениями двух точек, удаленных на угол α, надо умножить фокусное расстояние объектива на величину угла, выраженную в градусах, и разделить произведение на 57°,3.

Теперь рассмотрим вопрос об увеличении телескопической системы, в которую входят объектив и окуляр. Построим изображение бесконечно удаленного предмета (рис. 102). Оно находится в главной фокальной плоскости и обозначено буквами AB. Пусть угол между лучами OA и OB равен α.

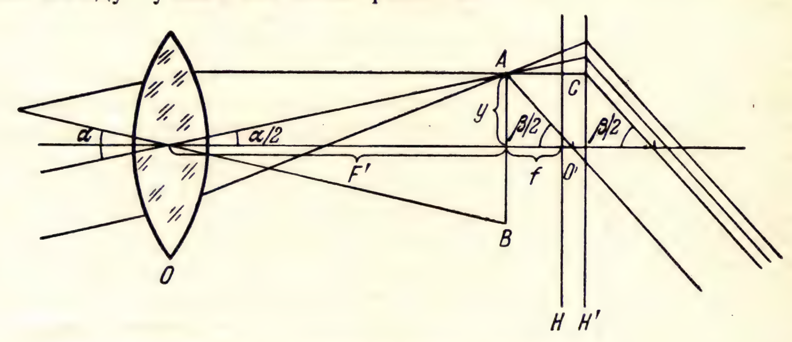


Рис. 102. К понятию об увеличении телескопа.

Пройдя через точку A, пучок лучей становится расходящимся, но так как точка A находится в передней фокальной плоскости окуляра, пучок выходит из окуляра параллельным. Выберем для определения направления один из лучей этого пучка, параллельный оси OO'. На рис. 102 мы заменили окуляр его главными плоскостями. Луч AC преломится и пройдет через задний главный фокус окуляра. Остальные лучи пойдут по параллельным направлениям, под углом $\beta/2$ к оси OO'. Соединим точки A и O'; этот луч AO' параллелен тому направлению, по которому вышел из точки A и преломлен окуляром рассмотренный выше луч.

Нетрудно видеть, что

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\frac{y}{F'} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg}\frac{\beta}{2}=\frac{y}{f}.$$

Заменяя тангенсы углами и определяя увеличение телескопической системы как отношение β к α, находим

$$w=\frac{\beta}{\alpha}=\frac{F'}{f}. \tag{4.8}$$

Так как $F' > f$, то величина w больше единицы и угол β больше угла α. Таким образом, назначение окуляра состоит в увеличении угловых размеров светил, что мы и воспринимаем как увеличение изображений.

Как видно из формулы (4.8), чтобы определить увеличение, достаточно разделить величину главного фокусного расстояния объектива на значение главного фокусного расстояния окуляра.

Кроме того, из формулы (4.4) следует, что увеличение также равно отношению диаметров зрачков входа и выхода:

$$w = \frac{D}{d}.$$

§ 5. Объективы

Одиночная линза, как бы она ни была хорошо изготовлена, не может быть использована в качестве объектива вследствие действия хроматической аберрации. Линза преломляет лучи различных длин волн по-разному, вследствие чего главное фокусное расстояние зависит от длины волны. Рассматривая изображение звезды, мы видим его окруженным радужным ореолом.

Для ослабления хроматической аберрации объектив изготовляется из двух или более линз. Подбирают различные сорта стекла, обладающие различными показателями преломления, и соответствующим образом рассчитывают радиусы сферических поверхностей и взаимные расстояния между линзами, чтобы такой сложный объектив собирал в одном фокусе лучи различных длин волн. Расчет объектива обычно учитывает его назначение. Если он предназначен для визуальных наблюдений, то стремятся объединить в одном фокусе те лучи, к которым наиболее чувствителен глаз. Если же объектив предназначен для получения снимков на обычных пластинках, то стремятся объединить в одном фокусе синие и фиолетовые лучи, к которым чувствительны пластинки. Такой объектив называется *ахроматическим*. Полностью ахроматизовать объектив не удается и всегда остается небольшая вторичная (сильно уменьшенная) хроматическая аберрация.

Для получения ахроматического телескопа часто используют такую комбинацию линз, в которой передняя, двояковыпуклая, линза изготовляется из кронгласа (с коэффициентом преломления, близким к 1,5), а задняя, выпукло-вогнутая, из флинтгласа (имеющего коэффициент преломления около 1,6).

Существуют более сложные объективы, в которых хроматическая аберрация еще более уменьшена путем более совершенного расчета или путем применения трех линз. Их называют *апохроматами.*

В астрономических объективах линзы не склеены друг с другом, а отделены воздушными прослойками определенной толщины. Для этого внутри объектива располагают прокладки или разделяющие линзы кольца. Центры всех сферических поверхностей должны быть на одной прямой линии — главной оптической оси, что достигается тщательной центрировкой объектива.

Объективы, используемые для визуальных наблюдений, являются обычно длиннофокусными; у них главное фокусное расстояние в 10—15 раз превышает диаметр. Обычно у таких телескопов поле зрения небольшое.

Фотографические объективы гораздо сложнее визуальных. Их обычно делают многолинзовыми, особенно, если хотят получить большое поле зрения, т. е. сделать объектив широкоугольным. Приведем для примера схемы некоторых объективов, часто применяющихся на практике.

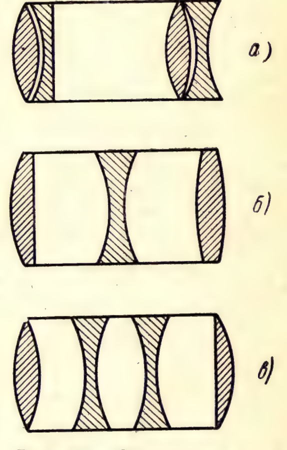


Рис. 103. Объективы: *а*) дублет Петцваля; *б*) триплет; *в*) четырехлинзовый объектив «Тессар».

На рисунке 103 показано устройство различных объективов: а) Двухкомпонентный четырехлинзовый дублет Петцваля, применявшийся в звездной астрономии. Таким является знаменитый бредихинский астрограф. б) Трехлинзовый объектив — триплет, состоящий из двух выпуклых линз (кронглас) и одной двояковогнутой (флинтглас). в) Четырехлинзовый объектив «Тессар».

Как триплеты, так и «Тессары» являются анастигматами (см. § 8). К типу «Тессаров» принадлежит и превосходный объектив, часто используемый любителями «Индустар-17». «Индустар» — несимметричный полусклеенный анастигмат.

Часто применяются в метеорной астрономии чрезвычайно светосильные объективы типа «Юпитер».

Любители астрономии нередко используют при своих наблюдениях объективы типа «Уран». Надо иметь в виду, что эти объективы фотовизуальные и при их использовании надо применять желтый светофильтр и снимать на ортохроматических или панхроматических пластинках или пленках.

§ 6. Окуляры

Окуляры делятся на два основных типа — положительные (Рамсдена) и отрицательные (Гюйгенса). На рис. 104 изображены устройства различных окуляров. Каждый окуляр состоит не менее чем из двух линз. Передняя линза, главное фокусное расстояние которой мы обозначим через f', называется *полевой*, а задняя линза, имеющая главное фокусное расстояние f'', — *глазной*.

Главное отличие положительных окуляров состоит в том, что у них передний фокус расположен вне окуляра, впереди полевой линзы. Поэтому положительные окуляры могут быть использованы как лупа. Их также используют в угломерных зрительных трубах для отсчета разделенных кругов и шкал.

При установке отрицательного окуляра в телескоп полевую линзу приходится помещать таким образом, чтобы она располагалась к объективу ближе главного фокуса последнего. Поэтому отрицательным окуляром нельзя пользоваться как лупой или применять в угломерных инструментах.

Сложными, состоящими из двух (и более) линз, окуляры изготовляются для уменьшения их хроматической аберрации. На рис. 104, *а—г* изображены схемы устройства положительных окуляров, а схемы 104, *д* и *е* показывают устройство окуляров отрицательных.

Наилучшими из положительных окуляров можно считать симметричные и ортоскопические; последние передают изображения небесных светил без искажений.

Отрицательные окуляры выгоднее положительных, так как у них большее поле зрения. С этой точки зрения наиболее выгоден окуляр Миттенцвея.

Обозначим через e расстояние между линзами окуляра. Тогда для положительного окуляра Рамсдена справедлива пропорция $f':e:f'' = 3:2:3$, а для отрицательных $f':e:f'' = 3:2:1$ или $4:3:2$.

Телескоп, в состав которого входит один из описанных типов окуляров, создает перевернутые изображения. Существуют также более сложные окулярные устройства, так называемые земные окуляры, которые дают прямые изображения. Однако они для астрономических наблюдений невыгодны, так как у них большая потеря света и малое поле зрения.

Рис. 104. Различные виды окуляров: *а*) Рамсдена, *б*) Кёльнера, *в*) симметричный, *г*) ортоскопический, *д*) Гюйгенса, *е*) Миттенцвея.

§ 7. Проницающая сила телескопа и светосила

Проницающая сила телескопа характеризуется предельной звездной величиной (m) самой слабой звезды, которую при наилучших атмосферных условиях можно в него увидеть при визуальных наблюдениях. Ее можно приближенно определить по формуле

$$m = 2{,}5 + 5 \lg D,$$

где D — диаметр объектива, выраженный в миллиметрах. Отсюда для 100-*мм* телескопа проницающая сила равна 12,5 зв. вел.,

а для 200-*мм* — 14,0 зв. вел. Надо заметить, что просветление оптики несколько повышает проницающую силу телескопа.

При получении фотографических снимков большую роль играет и другая характеристика объектива — его *светосила.*

Прежде всего объектив характеризуется его относительным отверстием, которое определяется как отношение диаметра объектива к его главному фокусному расстоянию: $A = D/F$. Освещенность фотографической пластинки, расположенной в главной фокальной плоскости объектива, пропорциональна A^2; величину A^2 называют *геометрической светосилой.* Поэтому объективы, обладающие большим относительным отверстием, т. е. большей светосилой, выгоднее, если мы хотим получать снимки слабо светящихся поверхностей или объектов. Однако у таких объективов меньший масштаб изображения.

В наиболее трудном положении находятся наблюдатели метеоров, применяющие фотографический способ наблюдений. С одной стороны, им надо для получения снимков возможно более слабых метеоров использовать объективы с относительным отверстием A порядка 1 : 1 или 1 : 2. С другой стороны, для выполнения более точных измерений координат или получения возможно большей дисперсии спектра метеора им надо иметь возможно больший масштаб, т. е. большое фокусное расстояние. К тому же объектив должен создавать возможно более четкие изображения на большом поле зрения, т. е. иметь большую разрешающую способность. Следовательно, при выборе объектива для метеорных наблюдений к нему приходится предъявлять очень высокие требования.

В заключение рассмотрим вопрос о разрешающей силе телескопа, используемого для визуальных наблюдений. *Разрешающей силой* телескопа называется минимальное угловое расстояние двух точечных источников света (звезд), которые видны в телескоп раздельно. Разрешающая сила вычисляется по формуле

$$S = \frac{116''}{D},$$

где D — диаметр объектива, выраженный в миллиметрах. Таким образом, телескоп с отверстием 100 *мм* теоретически позволяет разделить двойную звезду с угловым расстоянием 1″,2. Предел разрешающей силе ставит явление дифракции света.

Если посмотреть на изображение звезды при большом увеличении, то нетрудно убедиться, что оно не точечное, а имеет вид диска, окруженного концентрическими кольцами (рис. 105, *а*). Настоящее изображение звезды, если бы мы могли его получить, глубоко «потонуло» бы внутри дифракционного диска, составив его малую часть.

Вызвано это волновой природой света. Объектив «вырезает» из волнового фронта некоторую часть, ограниченную краями

его оправы. На краях объектива создается сложная картина колебаний световых волн, что и дает в фокусе дифракционную картину — диск определенного размера, окруженный кольцами. Распределение интенсивности света в такой картине изображено на рис. 105, *б*. Размеры дифракционного диска пропорциональны длине волны и обратно пропорциональны диаметру

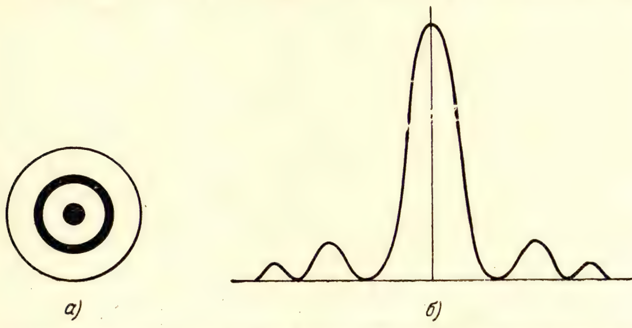


Рис. 105. Влияние дифракции света на изображение звезд: *а*) дифракционное изображение звезды, *б*) распределение интенсивности света в дифракционном изображении звезды.

объектива. Это явление ставит непреодолимый предел для разрешающей силы телескопа. Для повышения разрешающей способности приходится увеличивать размеры объективов или зеркал рефлекторов, так как дифракция света характерна и для последних.

§ 8. Недостатки оптических систем

Одним из самых существенных недостатков рефрактора является описанная выше хроматическая аберрация. Вторым недостатком как линзового, так и зеркального телескопов является *сферическая аберрация*. Объектив собирает пучок параллельных лучей не строго в одной точке. Края объектива создают изображение, расположенное ближе к объективу, а центральные части объектива образуют изображение более удаленное от него. Это явление называется *продольной* сферической аберрацией. Наименьший диаметр изображения точечного источника света называется *поперечной* сферической аберрацией.

Сферическую аберрацию стремятся уменьшить соответствующими расчетами поверхностей. Однако полностью ее устранить не удается. Ее влияние можно уменьшить, диафрагмируя объектив, но это уменьшает светосилу и проницающую способность. По этому пути можно пойти только при наблюдениях Солнца и Луны.

При астрономических наблюдениях, особенно фотографических, приходится использовать не только центральные части поля зрения, но и краевые. В этом случае мы сталкиваемся с влиянием аберрации лучей, проходящих через объектив по направлениям, составляющим иногда значительные углы с главной оптической осью.

Разделим объектив условно на ряд кольцевых зон; на рис. 106 эти зоны обозначены *AA, BB* и *C*. Пропустим через объектив пучок параллельных лучей, составляющих некоторый угол с главной оптической осью *OO'*. Краевая кольцевая зона *AA* создаст изображение, наиболее удаленное от оптической оси.

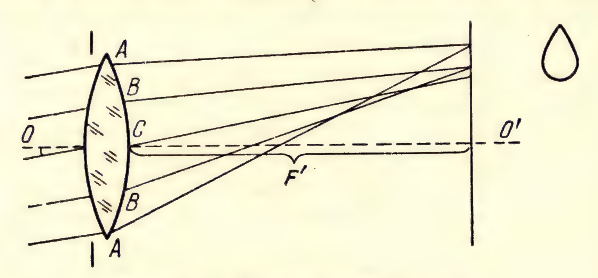


Рис. 106. К объяснению явления комы.

Зона *BB* создаст изображение более близкое, а зона *C* — самое близкое. Так как мы устанавливаем фотографическую пластинку в главной фокальной плоскости, т. е. перпендикулярно к *OO'* на расстоянии *F'* от объектива, то изображение звезды будет иметь вид вытянутой, напоминающей каплю, фигуры, какая изображена в правой части рис. 106. В зависимости от свойств объектива «капля» может быть обращена острием к центру поля зрения, или от него. Это явление называется *комой.* Объективы, у которых устранено явление комы, называются апланатами.

Для наклонных пучков лучей существенна еще одна аберрация, которая называется *астигматизмом.* Она возникает по следующей причине.

Если рассматривать различные сечения наклонного пучка, то оказывается, что расстояние точки схождения лучей в плоскости сечения от объектива, т. е. фокусное расстояние, зависит от ориентировки в пространстве этой плоскости или от ориентировки сечения объектива этой плоскостью.

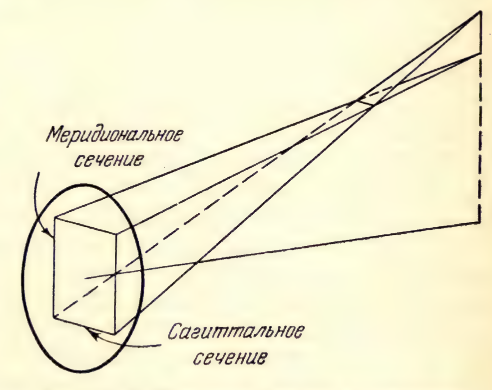


Рис. 107. К объяснению явления астигматизма.

Сечение объектива в направлении наклона пучка лучей носит название *меридионального,* сечение же в перпендикулярном направлении — *сагиттального* (рис. 107). Фокусное расстояние для меридиональных лучей не совпадает с фокусным расстоянием для лучей сагиттальных, что и приводит к астигматизму.

В результате изображения на краях пластинки вытягиваются. Звезды выходят иногда в виде крестиков или «гвоздиков».

Если влияние астигматизма устранено (или ослаблено), то такой объектив называется *анастигматом*.

Кома и астигматизм особенно проявляются у широкоугольных фотографических объективов. Объективы же визуальных рефракторов подвержены главным образом влиянию сферической и остаточной хроматической аберраций.

Фотографический объектив обладает еще одним недостатком. Фотографируя тот или иной предмет, мы хотим иметь его подобное изображение. Однако это не получается. Если бы изображение было в точности подобно оригиналу, то мы сказали бы, что оно ортоскопично. Любая оптическая система не удовлетворяет условию ортоскопичности. В этом легко убедиться на следующем примере. Нарисуем на экране прямоугольную сетку и получим ее снимок. Мы увидим, что изображение может иметь один из двух видов, показанных на рис. 108. Подобное этому искажение масштаба изображений называется *дисторсией*. Дисторсия обязательно должна быть исследована и в результате измерения координат надо вносить соответствующие поправки.

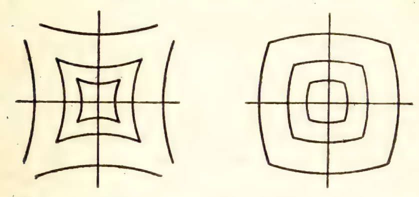


Рис. 108. Дисторсия объектива.

Рассмотрим теперь вопрос о разрешающей силе фотографического объектива. Для этого возьмем так называемый тест-объект — стеклянную пластинку, на которой нанесены темные полосы на светлом фоне по определенной системе, с различным количеством полос в квадратном сантиметре, т. е. с различной плотностью нанесения. Освещая тест-объект, мы можем рассматривать его изображение. После получения снимка тест-объекта рассматриваем изображения этих «марок», полученные в различных местах поля зрения. Так можно установить, в какой из марок линии видны раздельно, а в какой они вследствие влияния аберраций сливаются. Это дает возможность определить разрешающую силу объектива. Если, например, указано, что в центре поля зрения разрешающая способность равна 25 линий на миллиметр, то это означает, что все аберрации, действуя совместно позволят увидеть раздельно две линии, находящиеся друг от друга на расстоянии 0,04 *мм*. Чем больше «линий на миллиметр», тем выше разрешающая способность объектива.

При получении снимков разрешающая способность объектива еще ничего не говорит о качестве снимка, и вот почему. Эмульсия фотографической пластинки имеет зернистое строение. При получении звездных и метеорных снимков употребляют высокочувствительные эмульсии пластинок или пленок, а

они крупнозернистые. Это ухудшает совместную разрешающую способность снимка. Крупнозернистая эмульсия обладает разрешающей способностью 50—70 линий на миллиметр. Это надо учитывать при выборе объектива. Пластинки, имеющие низкую чувствительность, обладают разрешающей способностью около 300 линий на миллиметр и позволяют использовать лучшие объективы.

В заключение остановимся еще на одном явлении, которое называется *кривизной поля*. У некоторых объективов (или вогнутых зеркал) «уложить» все изображение в одну плоскость невозможно. Расстояние до фокуса оказывается зависящим от наклона лучей к главной оптической оси. Такое поле иногда называют кривым. При этом поле может быть выпуклым или вогнутым, в зависимости от свойств объектива. В таком случае пластинку (а лучше пленку) приходится выгибать с тем, чтобы как центральные, так и краевые части поля зрения были в фокусе.

§ 9. Наладка оптической системы рефрактора

Если нижний предел возможного увеличения телескопа определяется, как мы видели, размером выходного зрачка, то верхний предел — качеством изображений. Окуляры с фокусным расстоянием, меньшим 5 *мм*, на практике не применяются по двум причинам. При большом увеличении значительное влияние оказывает дифракция. Кроме того, турбулентные движения в земной атмосфере делают изображения расплывающимися и дрожащими.

Вместе с тем дифракционная картина позволяет судить о качестве объектива и правильности центрировки всей оптической системы.

Дифракционный диск и дифракционные кольца должны иметь четкий вид, если только атмосферные условия в данный



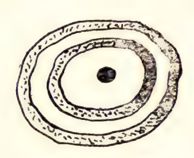


Рис. 109. Различная форма дифракционных колец в зависимости от качества объектива и регулировки телескопа.

момент достаточно хороши. Если они имеют неправильную, извилистую форму, которая сохраняется длительное время, то это свидетельствует о плохом качестве объектива. Это можно проверить, вращая объектив в его оправе — неправильная фигура дифракционного диска должна при этом поворачиваться (рис. 109).

Может оказаться, что дифракционный диск и кольца имеют эллиптическую форму. Это означает, что оптические оси объектива и окуляра не совпадают.

Для проверки повернем окуляр вокруг его продольной оси. Если вид изображения не меняется, то в искажении виноват наклон объектива. Для изменения этого наклона в оправе, в которую ввинчивается оправа объектива, предусмотрены три регулировочных и три стопорных винта. Отпуская стопорный и завинчивая регулировочный винты, мы можем добиться нужного положения объектива, при котором дифракционная картина примет круговую форму. При этом руководствуются следующим правилом. При овальной форме изображения один из краев будет казаться более ярким. Тот край объектива, который расположен со стороны более яркой части диска, надо удалить от окуляра.

Иногда оказывается расцентрированным сам объектив; это означает, что линзы наклонены под некоторым углом друг к другу и их оптические оси не совпадают с главной оптической осью всей системы. В таких случаях мы видим не точечное изображение звезды, а ее маленький спектр. Объектив надо центрировать, что выполняется не столь просто. Многолинзовый объектив разбирать самому никоим образом нельзя. Его надо отдать специалисту-оптику. Двухлинзовый объектив центрировать можно, но это потребует затраты большого количества времени.

Объектив надо осторожно разобрать. Отпустив зажимное кольцо оправы (вывинтив его), объектив осторожно переворачивают так, чтобы обе линзы выпали на мягкую подстилку, без сдвига. На фаске объектива (матовом крае диска) наносят карандашом *V*-образную черту так, чтобы она захватила обе линзы. Тогда после сборки объектива надо будет совместить эту фигуру в прежнем положении линз. Изменяя толщину прокладок, отделяющих линзы, меняют их взаимный наклон. При этом надо для начала изменить одну из прокладок — ту, вдоль которой была направлена дисперсия наблюдавшегося спектра. Осторожно собрав объектив, аккуратно поместив его в оправу (для чего надевают на лежащий на мягкой подкладке объектив оправу, а затем, осторожно перевернув оправу вместе с мягкой подкладкой, завинчивают стопорное кольцо), укрепляют объектив на его место в телескопе и смотрят, как изменилась картина. Центровка объектива потребует многочисленных проб и повторений этого процесса.

При этом надо помнить, что пробы надо производить, наблюдая звезды, близкие к зениту. Наблюдающийся спектр звезды может возникнуть не из-за неисправности центрировки, а в результате действия дифференциальной рефракции земной атмосферы — атмосферной дисперсии. У зенитных звезд ее нет.

§ 10. Рефлектор

В отражательном телескопе — *рефлекторе* — параллельный пучок лучей падает на вогнутое зеркало, имеющее форму параболоида вращения, отражается от него и собирается в главном фокусе, где создается точечное изображение, окруженное, как и у рефрактора, дифракционными кольцами. При помощи окуляра можно рассматривать увеличенное изображение небесного светила, т. е. выполнять визуальные наблюдения. Так как главный фокус зеркала помещается между поверхностью зеркала и объектом, то надо «вывести» луч из трубы рефлектора. Для этого используется несколько различных систем.

На рис. 110, *а* изображена наиболее доступная любителю система Ньютона. Луч «выводится» в сторону при помощи малого наклонного (под углом 45° к главной оптической оси) плоского зеркала; здесь помещается окуляр (или кассета с фотографической пластинкой). Смотреть в трубу приходится сбоку.

Рис. 110. Различные системы отражательных телескопов: *а*) система Ньютона, *б*) система Кассегрена, *в*) система Нэсмита, *г*) система Грегори.

Система Кассегрена (рис. 110, *б*) состоит из главного параболического зеркала, в центре которого еще при его изготовлении было сделано центральное отверстие для «выхода» лучей.

Вторичное малое зеркало имеет здесь форму выпуклого гиперболоида вращения, что необходимо для удлинения главного фокусного расстояния системы.

Система Нэсмита сходна с системой Кассегрена, с тем отличием, что в ней есть третье, плоское малое зеркало, выводящее лучи, как в системе Ньютона, в сторону. Ход лучей можно

проследить на рис. 110, *в*. В этой системе нет необходимости предварительно сверлить параболическое зеркало.

Система Грегори сходна с системой Кассегрена, но в ней малое зеркало, имеющее форму вогнутого эллипсоида вращения, установлено за главным фокусом большого зеркала (рис. 110, *г*).

Главное преимущество рефлектора состоит в том, что у него нет хроматической аберрации и потому он не дает окрашивания изображений небесных светил. Небольшую хроматическую аберрацию может внести окуляр.

У рефлектора много и недостатков. Все другие аберрации — сферическая, кома и астигматизм у него гораздо больше, чем у рефрактора. Он также обладает очень большой фотометрической ошибкой поля.

Для астронома-любителя рефлектор особенно ценен тем, что его можно изготовить самостоятельно. Подробное описание процесса изготовления рефлектора можно найти в книге М. С. Навашина «Самодельный телескоп-рефлектор» («Наука», 1967).

Центрировка рефлектора. Главная задача, которую преследует центрировка, состоит в отыскании для всех элементов системы — главного зеркала, плоского зеркала и окуляра — правильных положений. Поэтому все эти элементы снабжены установочными винтами.

Хотя способы центрировки описаны в книге М. С. Навашина, мы намерены поделиться собственным опытом центрировки рефлектора.

На рис. 111 показано устройство оправы главного зеркала; она состоит из металлической рамы, имеющей вид кольца (для

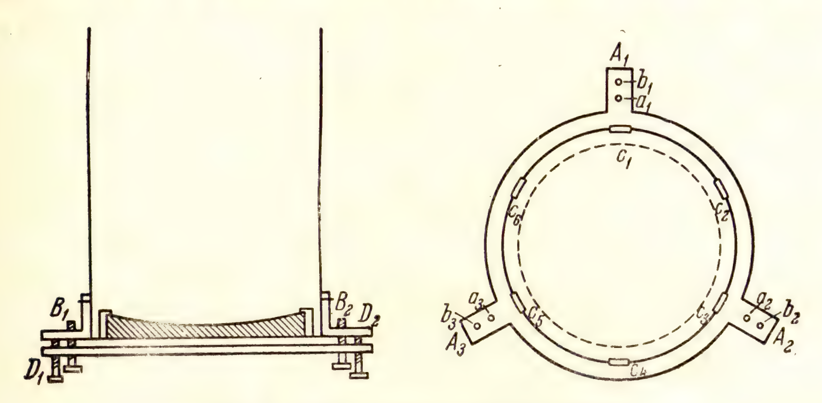


Рис. 111. Схема устройства оправы зеркала.

вентиляции зеркала), к которой прикреплены три плоские полосы — выступы A_1, A_2 и A_3. В каждом из выступов сделано по два отверстия a_k и b_k; отверстия b_k имеют винтовые нарезки, в которые ввинчиваются регулировочные винты D_k. Отверстия a_k

сделаны несколько бо́льшими, с тем чтобы закрепляющие винты B_k могли свободно проходить через них.

Зеркало укрепляется на кольцеобразной раме (внутренняя граница рамы изображена на рис. 111 прерывистой линией). Автор укреплял зеркало при помощи «лапок» c_1, c_2, ..., c_6. Однако это нехорошо, так как лапки могут сколоть края зеркала. Поэтому желательно изготовить кольцо с загнутым верхом, которое прижало бы все зеркало к раме через подложенный под него по краям войлок или фланель. После этого можно привинтить оправу к раме винтами c_k.

Чтобы соединить оправу зеркала с трубой, к задней части трубы прикрепляется массивное кольцо с тремя прикрепленными к нему кронштейнами в форме уголков. В каждом из уголков проделывается отверстие с нарезкой, в которое завинчиваются закрепляющие винты B_k. С их помощью зеркало прочно прикрепляется к трубе, а регулировочные винты D_k позволяют изменить наклон зеркала по отношению к продольной оси трубы. Полезно нанести на оправе зеркала и на кольце трубы метки после того как зеркало установлено на место. Это позволит впоследствии восстановить прежнее положение зеркала после его снятия и сократит время, уходящее на повторную установку зеркала.

Чтобы уберечь зеркало от пыли, полезно изготовить крышку, которую следует вводить внутрь трубы через боковое отверстие в ней, закрываемое после использования заслонкой.

Узел крепления плоского зеркала должен иметь большее количество регулировочных приспособлений. Он изображен на рис. 112. Для укрепления плоского зеркала изготовляется сплошной цилиндр A, который срезан под углом 45° к его продольной оси. В его передней части устанавливается оправа плоского зеркала, которую полезно сделать в виде круглой коробочки (в нее ляжет зеркало полированной и алюминированной поверхностью наружу) с винтовой нарезкой на внешней цилиндрической стенке. На эту нарезку должно навинчиваться крепежное кольцо, которое прижмет плоское зеркало к дну коробочки своими закраинами. Под зеркало надо подложить мягкую подстилку.

Металлический цилиндр A имеет в своей задней части стержень D, свободно (но без излишней свободы) входящий в стойку в виде стержня E через отверстие a. Снаружи на стержень D, обладающий нарезкой, навинчивается гайка F. Весь цилиндр A может свободно перемещаться, если его не закрепить регулировочными винтами. Для этого к стержню E прочно прикреплен диск C', имеющий такой же диаметр, что и цилиндр A. В нем сделаны три отверстия с нарезками, в которые входят три регулировочных винта, b_1, b_2 и b_3.

Таким образом, стержень E и цилиндр A дают возможность наклонять зеркало в нужное положение; с другой стороны

стержень E заканчивается нарезкой, которая при помощи двух гаек, H_1 и H_2, прикрепляет стойку E к окулярной доске K; в этой доске имеется отверстие для установки окулярного тубуса Q. Внутри этого тубуса должна перемещаться трубочка с укрепленным в ней окуляром; это перемещение можно делать при помощи кремальеры. Однако можно этого избежать. Можно сделать на этой трубочке нарезку, которая позволила бы ввинчивать окулярную трубку внутрь тубуса Q для фокусировки окуляра.

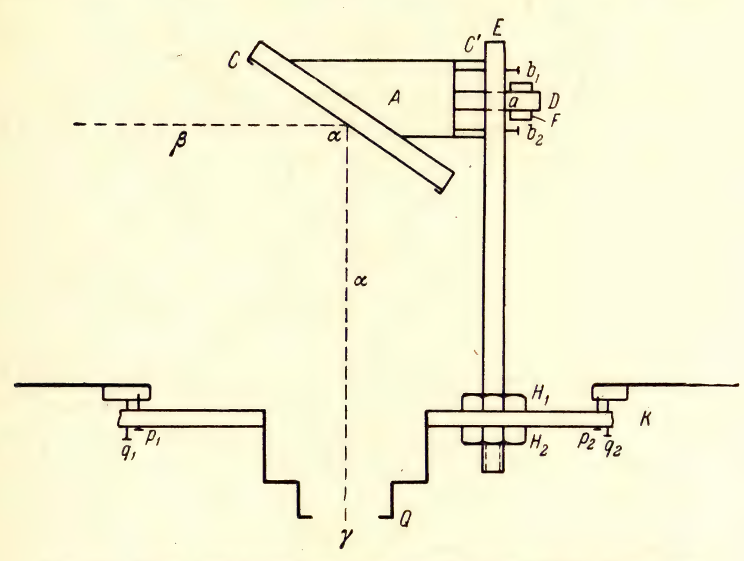


Рис. 112. Схема крепления плоского зеркала внутри трубы рефлектора.

Окулярная доска привинчивается к телу трубы тремя винтами p_1, p_2 и p_3, рядом с которыми помещаются три регулировочных винта q_1, q_2 и q_3, позволяющих изменять наклон окулярной доски.

Для центровки рефлектора полезно, кроме окуляра, заготовить длинную трубку (юстировочную), которую можно было бы устанавливать вместо окуляра. Трубка без оптики должна быть длиной около 25 *см* и иметь в передней части крест нитей. В задней ее части надо установить небольшую глазную диафрагму с отверстием 2—5 *мм*. Глаз наблюдателя, смотрящий сквозь это небольшое отверстие, должен отчетливо видеть пересечение креста нитей в центре поля зрения трубки. Затем в центре большого параболического зеркала надо нанести тушью небольшую «точку», такую, чтобы она была видна впоследствии через юстировочную трубку. Этим мы ничего не испортим, так как центральная зона зеркала, загороженная от объекта плоским зеркалом, при наблюдениях небесных светил «не

работает». И, наконец, на внешней части кольца оправы плоского зеркала надо натянуть две черные нити по взаимно перпендикулярным направлениям, так, чтобы образующийся крест находился в центре оправы.

Теперь все подготовлено для того, чтобы начать центрировку. Посмотрим, каким условиям должна удовлетворять центрированная система.

Так как внешняя часть оправы плоского зеркала выступает над его полированной поверхностью, то наблюдатель, рассматривающий плоское зеркало через юстировочную трубку, видит раздельно и крест нитей и его отражение в плоском зеркале. Пересечение этих двух крестов он видит как небольшой квадрат или параллелограмм. Направив телескоп на освещенный равномерным светом яркий фон голубого неба, мы должны увидеть все большое зеркало; в его центре должно быть видно изображение плоского зеркала, а черная точка, нанесенная нами в центре большого зеркала, должна быть видна внутри параллелограмма, образованного крестом нитей оправы плоского зеркала и его отражением. Изображение же черной точки должно, кроме того, совпадать с крестом нитей юстировочной трубки. Если отвести глаз от отверстия юстировочной трубки, так, чтобы он был хорошо освещен дневным светом, то мы увидим изображение собственного глаза, создаваемое всей оптической системой. Свет при этом проделывает следующий сложный путь. От глаза он идет через юстировочную трубку к плоскому зеркалу, отражается от него к большому зеркалу, отражается назад от большого зеркала к плоскому и, отразившись от последнего, попадает опять в глаз наблюдателя. При центрированной системе изображение глаза должно быть видно в центре параллелограма, совпадать с изображением черной точки и находиться на кресте нитей юстировочной трубки! Именно такой картины надо добиваться при выполнении центрировки рефлектора системы Ньютона. Это делают при помощи всех описанных выше регулировочных винтов.

Прежде всего надо правильно расположить плоское зеркало относительно окулярной части, для чего надо установить длину стойки E. Это можно сделать заранее после несложного расчета. Необходимо, чтобы центр плоского зеркала находился на продольной центральной оси трубы. Перемещение плоского зеркала вдоль стойки осуществляется вращением гаек H_1 и H_2.

После этого надо установить плоское зеркало в такое положение, чтобы его центр был виден на продольной оси юстировочной трубки. Это осуществляется путем передвижения стержня D, путем завинчивания гайки F и отпускания винтов b_k на стойке E. Эти же винты помогут поставить плоское зеркало под углом 45° к оси юстировочной трубки. Итак, после этих операций крест нитей юстировочной трубки будет находиться в центре параллелограмма. Теперь надо установить плоское

зеркало таким образом, чтобы в него было видно главное зеркало. Это осуществляется, во-первых, вращением всей стойки E вокруг направления H_1H_2 и, во-вторых, наклоном всей окулярной части при помощи винтов p_k и q_k. Мы должны увидеть после выполнения этих операций заднее отверстие трубки в положении, концентрическом по отношению к краю поля зрения юстировочной трубки.

Теперь можно будет приступить к центрировке большого зеркала. Посмотрев внутрь юстировочной трубки, мы увидим освещенную поверхность большего зеркала и отражение в нем малого. Регулируя винты B_k и D_k, будем добиваться такого их расположения, как было описано выше.

После окончания описанных операций надо заменить юстировочную трубку окуляром и начать испытание по звездам. Экстрафокальные изображения должны быть круглыми, равномерно залитыми светом, с темной центральной дырочкой, «тенью» плоского зеркала. Если этого нет, то надо уточнять центрировку. Фокальные же изображения звезд — маленькие дифракционные диски, окруженные кольцами.

Уход за рефлектором. Проницающая сила рефлектора зависит как от качества отражающих поверхностей, так и от качества их покрытия металлическим отражающим слоем и его чистоты. Поэтому зеркала надо закрывать специальными крышками во избежание попадания пыли. И все-таки, несмотря на все меры предосторожности, пыль на них попадает. Чистка зеркала — операция не очень простая, так как надо никоим образом не поцарапать нанесенный на зеркало тонкий металлический слой. Пыль удаляют, смахивая ее с зеркала мягкой беличьей кисточкой. Сильно загрязненное зеркало можно помыть. Для этого приготовляют раствор детского мыла в дистиллированной воде и купают зеркало в нем, смыв потом чистой дистиллированной водой.

С течением времени поверхностный металлический слой все равно тускнеет. Приходится его удалять, а затем снова покрывать поверхность зеркала новым металлическим слоем. Теперь зеркала алюминируют, а раньше их серебрили. Алюминирование производится в вакууме путем напыления металла на стекло. Это любителю недоступно. Поэтому ему приходится зеркало серебрить, что представляет довольно сложный химический процесс. Способ серебрения зеркал описан в книге М. С. Навашина «Самодельный телескоп-рефлектор».

§ 11. Современные оптические системы

Недостатки классических оптических систем, рефракторов и рефлекторов, были нами уже описаны. Уже давно искали способы уменьшения их влияния. Для этого применяют соответствующие коррекционные линзы, вводимые в оптическую систему.

Один из таких усовершенствованных телескопов — анаберрационный рефлектор системы Шмидта. В нем главное большое зеркало имеет сферическую поверхность. Параллельный пучок лучей, отраженный сферической поверхностью, дает очень плохое изображение, сильно искаженное аберрациями. Чтобы это устранить, в передней части телескопа устанавливают прозрачную коррекционную пластину; параллельные пучки лучей проходят через нее раньше, чем они попадут на зеркало. Эта коррекционная пластина имеет очень сложную асферическую поверхность, которая рассчитана таким образом, чтобы устранить аберрации сферического зеркала и не внести хроматической аберрации. Все расчеты ведутся таким образом, чтобы поле зрения получилось возможно большим.

Изображение создается в пространстве между коррекционной пластиной и зеркалом — внутри телескопа. Вывести изображение наружу не легко и потому кассету с фотографической пластинкой помещают внутри телескопа, так что она диафрагмирует центральные части как линзы, так и зеркала. Пластинку располагают эмульсией к зеркалу.

Одним из недостатков этой системы является то, что поле зрения телескопа «кривое» и пленку надо выгибать. Для этого изготовляют особую кассету, на которую натягивают пленку.

Телескопов системы Шмидта изготовлено довольно много и довольно больших размеров. Они обладают большой светосилой и позволяют наблюдать очень слабые объекты.

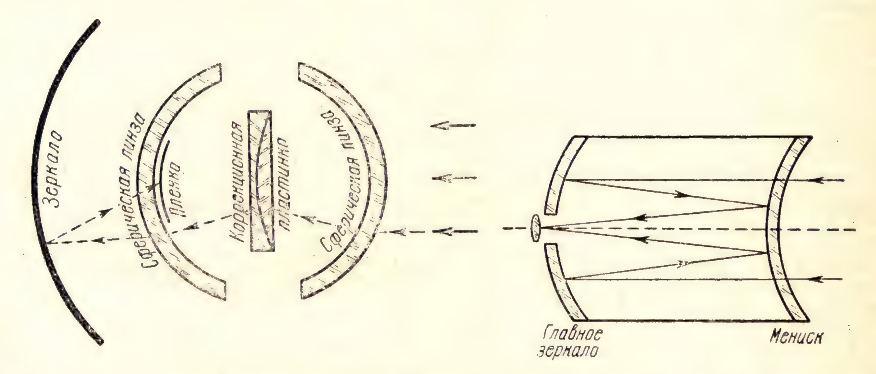


Рис. 113. Ход лучей в телескопе «супер-Шмидт».

Рис. 114. Ход лучей в менисковом телескопе Максутова.

Для получения метеорных фотографий американские астрономы создали специальные сверхсветосильные оптические системы, которые получили название камер «супер-Шмидт». Схема устройства такой камеры показана на рис. 113. Фотографическая пленка «зажимается» внутри камеры, прижимаясь к внутренней поверхности сферической линзы. Ход лучей внутри такой камеры можно проследить на рис. 113.

Выдающийся советский оптик Д. Д. Максутов изобрел оптическую систему, которая получила широкое распространение. Она изображена на рис. 114. Главное зеркало, как и в системе Шмидта, имеет сферическую поверхность. Однако коррекционная линза гораздо проще. Это изготовленный из хорошего оптического стекла мениск, т. е. линза, ограниченная двумя одинаковыми сферическими поверхностями. Для вывода изображения из телескопа центральная часть мениска покрыта тонким слоем алюминия, который отражает пучок лучей в сторону главного зеркала. Конечно, это диафрагмирует центральную часть зеркала, но она в системе вообще «не работает». Эта система обладает большими достоинствами. У нее почти нет хроматической аберрации.

Влияние других аберраций также предельно уменьшено, сферические поверхности легче изготовляются и, кроме того, алюминированные поверхности закрыты в телескопе и не подвергаются действию атмосферных влияний — не запотевают и не пылятся. Кстати, промышленность выпускает хороший фотообъектив системы Максутова МТО-1000. Пристроив к нему окуляр, можно получить неплохой телескоп с отверстием 100 *мм* и фокусным расстоянием 1000 *мм*. Он позволяет получать увеличение до 120—150 раз.

Недостатком телескопа Д. Д. Максутова является следующее. Если мы хотим изготовить такой телескоп больших размеров, то надо сделать большой и толстый мениск. Стекло должно быть оптически однородным, чего не легко добиться. Кроме того, в большой толще стекла поглощается большое количество света и проницающая сила телескопа снижается.

Проф. П. П. Аргунов рассчитал иную оптическую систему, несколько более выгодную. Главное зеркало (рис. 115) имеет сферическую форму. В сходящемся пучке располагают корректоры, изготовленные из нескольких специальных линз, имеющих также сферические поверхности. Корректоры исправляют аберрации. Одна из наиболее совершенных систем Аргунова, так называемая *изохроматическая*, имеет особый корректор, который совершенно не вносит хроматической аберрации и исправляет остальные. Система интересна также тем, что, заменяя корректоры, можно менять эквивалентное фокусное расстояние, т. е. делать телескоп многопрограммным. В прямом фокусе можно получать звездные снимки, так как при таком корректоре инструмент обладает большой светосилой. При других коррекго-

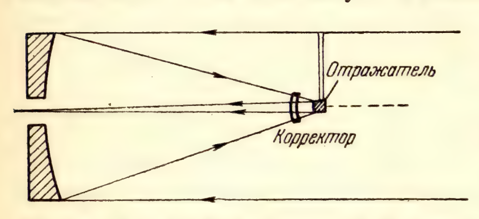


Рис. 115. Ход лучей в телескопе П. П. Аргунова.

рах можно получить большие фокусные расстояния, а следовательно, и большие увеличения. При этом длина телескопа не изменяется. Уже изготовлено несколько таких телескопов.

§ 12. Установки телескопов

Телескоп устанавливают на прочном штативе. Любой из штативов имеет две взаимно перпендикулярные оси. Вращение вокруг этих осей позволяет направить телескоп на любое светило.

Простейшая установка — *азимутальная*; одна из осей в этой установке вертикальная, а другая горизонтальная. Вращением вокруг горизонтальной оси мы изменяем наклон телескопа к плоскости горизонта, а вращением вокруг вертикальной оси — азимут.

Гораздо удобнее *параллактическая* или *экваториальная* установка. Одна из ее осей устанавливается параллельно оси мира и называется *полярной осью.* Вращая телескоп вокруг полярной оси, мы заставляем его следовать за суточной параллелью светила. При наличии часового механизма телескоп автоматически следит за звездой, вращаясь вокруг полярной оси. Перпендикулярная к ней ось называется *осью склонений.* Вращая трубу вокруг нее, мы перемещаем телескоп в плоскости круга склонений.

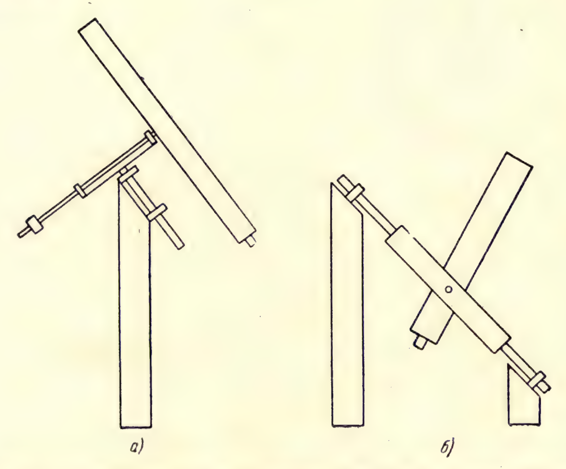


Рис. 116. Устройство параллактического штатива: *а*) немецкого типа, *б*) английского типа.

Существуют два основных типа параллактических установок — немецкий и английский (рис. 116). Немецкая установка требует одной колонны, а английская — двух. Рефлекторы часто устанавливаются на «вилочных» штативах (рис. 117).

Многие наблюдения любитель астрономии может производить и без часового механизма, но экваториальная установка,

хотя бы примитивная, более чем желательна. Простейшие установки могут быть изготовлены даже из водопроводных труб; в качестве станины телескопа может быть использован корпус отслужившего свою службу автомобильного мотора.

Надо иметь прочную колонну, для чего может быть использован вкопанный в землю деревянный столб. Верхняя часть колонны срезается под углом, равным географической широте места наблюдения. Столб ориентируется перед его укреплением таким образом, чтобы плоскость среза была параллельна оси мира. На ней укрепляются два подшипника, в которые входит полярная ось. Вместо подшипников может быть установлен корпус автомобильного мотора. Сквозь отверстие в подшипниках (или в корпусе мотора) вставляют полярную ось, предварительно укрепив на ней толстую полосу в перпендикулярном направлении. Это будет опорой для двух подшипников, сквозь которые пройдет ось склонений. Вставив затем ось склонений, к которой прикреплен телескоп, в эти подшипники, закрепляют ось контршайбой со стопорным винтом таким образом, чтобы она не могла выпадать из подшипников. На одном конце оси склонений находится телескоп, а на втором противовес, перемещающийся вдоль оси склонений с тем, чтобы можно было уравновесить телескоп.



Рис 117. Установка вилочного типа.

Настоящая фабричная установка имеет в нижней части колонны регулировочные винты, позволяющие менять наклон колонны относительно вертикальной линии, и винты, позволяющие поворачивать колонну вокруг вертикальной оси для правильной ориентации по азимуту. Кроме того, к осям прикреплены разделенные круги, позволяющие устанавливать телескоп на светило по его координатам.

Прежде чем начать наблюдения на телескопе, необходимо убедиться, что полярная ось паралельна оси мира. Для этого наблюдают суточные движения звезд.

Наводим телескоп на звезду, близкую к кульминации. Ставим ее в центр поля зрения. Полезно иметь окуляр с натянутыми в его фокусе нитями. Поставив звезду на крест нитей, следят за ней, перемещая телескоп вокруг полярной оси. Если звезда не сходит с креста нитей — колонна телескопа поставлена по азимуту правильно. Если она отходит «вверх» или «вниз», то суточная параллель инструмента не совпадает с суточной парал-

лелью небесной сферы. Колонну надо повернуть около вертикальной оси. Делая ряд испытаний, находят в конце концов правильное положение колонны.

Теперь надо проверить правильность установки телескопа по широте. Для этого выбирают не очень далекую от зенита звезду вблизи первого вертикала и следят за тем, как ее движение отклоняется от суточной параллели. Если она отходит, то приходится изменять соответствующим образом наклон полярной оси. При этом следует поочередно наблюдать две звезды — одну к востоку, а другую к западу, обе вблизи плоскости первого вертикала.

Правильная установка штатива особенно важна для выполнения фотографических наблюдений, если они к тому же делаются с длительной экспозицией.

Для более легкого наведения телескопа на нужный объект он снабжается искателем — небольшой зрительной трубкой, обладающей большим полем зрения, установленной параллельно оптической оси телескопа.

Кроме того, телескоп легко превращается в астрограф — прибор для фотографирования неба, если параллельно ему укрепить фотографическую камеру с широкоугольным объективом. Тогда сам телескоп играет роль гида — вспомогательной зрительной трубы, помогающей контролировать ход камеры за суточным движением неба.

§ 13. Астрограф астронома-любителя

Итак, располагая даже простейшей экваториальной установкой, можно превратить ее в астрограф, пригодный для получения фотографий звездного неба, переменных звезд, комет и т. п. Для этого прежде всего надо сделать фотографическую камеру.

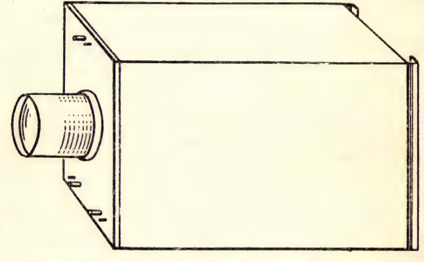


Рис. 118. Устройство фотографической камеры. В передней доске укреплены три центрировочных и три стопорных винта.

Камера должна быть прочной. Поэтому сначала изготовляется из углового железа каркас — «скелет» камеры, который затем обшивают с боков металлическими листами и надежно закрашивают, чтобы внутрь камеры не попадал посторонний свет (рис. 118). Переднюю часть камеры также закрывают металлическим листом, в котором сделано центральное отверстие, немного большего диаметра, чем диаметр объектива. В задней части камеры укрепляют пазы, в которые будет вдвигаться кассета.

Объектив лучше всего укреплять в оправе, имеющей винтовую нарезку, которая позволяет в небольших пределах изменять расстояние от объектива до пластинки и тем самым фокусировать камеру.

Теперь надо изготовить достаточно прочную пластину, на которой укрепить кольцо, в которое будет ввинчиваться объектив. Эту пластину надо взять таких размеров, чтобы она полностью закрывала переднюю стенку камеры и крепилась к «скелету» винтами, входящими в уголковое железо. Три винта служат для крепления, а три других, упорных винта, ввинченных рядом с первыми, служат для точной юстировки плоскости пластины. Эти винты служат для центрировки камеры.

Фотографическую камеру надо прикрепить к телескопу, параллельно ему, но на некотором от него расстоянии, так, чтобы передняя часть трубки не заслоняла части поля зрения. Лучше всего крепить в таком положении, чтобы центр тяжести камеры находился на продолжении оси склонений.

Кассета, в которую вкладывается пластинка (или пленка под прозрачное стекло), должна быть сделана прочной, с таким расчетом, чтобы пластинка всегда устанавливалась в том же положении, Любительские кассеты для получения хороших снимков не годятся. Лучше изготовить кассету по типу, показанному на рис. 119. Пластинка в нее вкладывается с задней

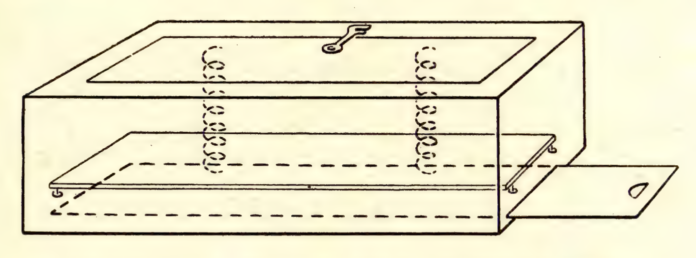


Рис. 119. Устройство кассеты для фотографической камеры.

стороны и прижимается к внутренней рамке пружинами. Открывается кассета при получении снимка выдвижением заслонки.

Теперь можно приступить к наладке камеры. Ее прежде всего надо отфокусировать по всему полю зрения. Для этого производится на одной пластинке серия снимков какой-либо яркой звезды. При этом мы перемещаем телескоп так, чтобы все снимки расположились на пластинке «цепочкой» в определенном порядке. Сначала, вывинтив объектив, делаем первый снимок. Затем повторяем снимки, каждый раз делая один полный поворот объектива в нарезке и считая повороты. Наименьшее, точечное изображение звезды соответствует отфокусированному положению объектива.

Может оказаться, что часть пластинки будет находиться в фокусе, в то время как другая часть — вне фокуса. Это означает, что кассета не перпендикулярна к оптической оси объектива. Тогда надо наклонять переднюю, несущую объектив пластину, пользуясь регулировочными винтами. При наличии изображений многих цепочек, разбросанных по полю зрения, легко установить, в какую сторону надо наклонять пластину. После исправления этой ошибки надо снова повторить фокусирование камеры, может быть, вдвигая объектив на доли оборота.

При длительных экспозициях необходимо все время перемещать телескоп, следя за звездой в гид. Вот тут, конечно, необходимо иметь часовой механизм. Предлагали такую упрощенную его конструкцию.

К нижнему концу полярной оси (рис. 120) прикрепляют выточенный из прочного дерева барабан с проточенными на нем по винтовой линии канавками. На этот барабан наматывают трос, наглухо прикрепив один его конец к барабану. При сматывании троса с барабана телескоп будет вращаться вокруг полярной оси. Далее трос пропускают через ролик и ко второму концу троса прикрепляют сосуд, наполненный водой.

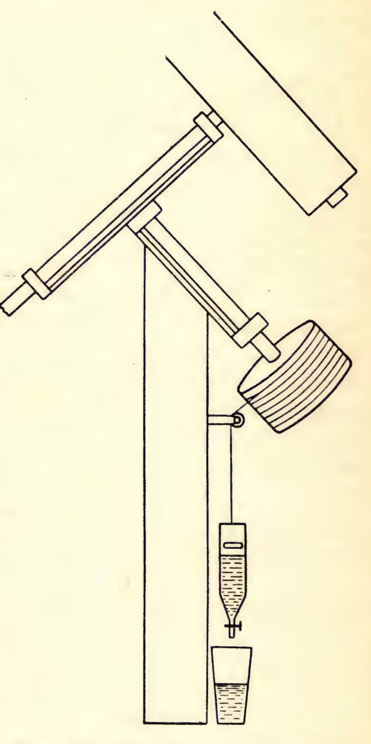


Рис. 120. Устройство самодельного часового механизма к астрографу.

Груз будет тянуть трос вниз и телескоп будет вращаться вокруг полярной оси. Однако груз падает равноускоренно и вращение должно ускоряться, а нам надо, чтобы часовой механизм вращал трубку равномерно. Поэтому в нижней части сосуда сделан кран, через который вода будет вытекать в ведро. Тогда вес сосуда будет постепенно уменьшаться и можно так отрегулировать краном вытекание воды, чтобы вращение телескопа было равномерным. Это облегчит гидирование.

Проф. Б. А. Воронцов-Вельяминов предложил другой принцип устройства любительского астрографа, в котором гидирование осуществляется автоматически, без применения зрительной трубы (Астрономический Календарь на 1950 год, стр. 141). Если камера имеет небольшое фокусное расстояние, то масштаб снимка мал, так что можно без большой погрешности перемещать камеру не непрерывно, а небольшими толчками, через

столь малые промежутки времени, за которые изображения звезд не успеют вследствие суточного движения заметно растянуться.

В Астрономическом Календаре на 1958 г. опубликована статья И. Д. Новикова и О. Б. Ржаницыной «Самодельный астрограф для фотографирования звездного неба». В этой статье авторы описали свой опыт изготовления любительского широкоугольного астрографа.

§ 14. Угломерные астрономические инструменты

Одна из основных задач астрономии состоит в определении координат небесных светил, точного времени (поправки часов) и географических координат. Эта задача решается при помощи астрометрических инструментов, которые можно разделить на два класса: стационарные и переносные.

а) Стационарные инструменты. *Пассажный инструмент* состоит из зрительной трубы, вращающейся вокруг горизонтальной оси, направленной с запада на восток. Очевидно, что при вращении трубы продолжение ее оси «прочерчивает» на небесной сфере меридиан. Наблюдаются прохождения небесных светил через меридиан наблюдателя; определяется момент кульминации. Прохождения звезд через меридиан регистрируются микрометром, связанным с хронографом и с основными часами обсерватории. Применяется также фотоэлектрический метод наблюдений прохождений; в этом случае нити заменяются прозрачными щелями, а глаз — фотоумножителем. Инструмент используется для определения поправок часов и определений прямых восхождений звезд.

Меридианный круг, так же как пассажный инструмент, устанавливается в меридиане. В отличие от последнего обладает разделенными точными кругами, показания которых при наведении трубы на звезду дают возможность определить зенитное расстояние кульминирующего светила, а по нему вычислить его склонение. Используется так же, как и пассажный инструмент, для определения поправок часов и прямых восхождений небесных светил.

Зенит-телескоп служит для определения точного значения географической широты места наблюдения из измеренных зенитных расстояний близких к зениту звезд.

Все эти инструменты недоступны любителю астрономии.

б) Переносные инструменты. Эти инструменты предназначены главным образом для определения точных значений географических координат. Поэтому их используют в экспедициях. Основной прибор — *универсальный инструмент*. Он состоит из зрительной трубы, укрепленной на горизонтальной оси. Вращение вокруг горизонтальной оси позволяет определять зенитные расстояния, так как с этой осью скреплен тщательно разде-

ленный круг с приспособлением, позволяющим делать отсчеты. Зрительная труба вместе с горизонтальной осью вращается вокруг вертикальной оси; повороты меняют азимуты инструмента, значения которых отсчитывают по разделенному горизонтальному кругу. Для точной установки вертикальной оси вдоль линии отвеса опоры инструмента снабжены тремя регулировочными винтами, а сам инструмент точными уровнями. Оба разделенных круга поделены с одинаковой точностью. Универсальный инструмент — дорогой прибор, и его обычно нет в распоряжении любителя астрономии.

Однако по типу этого инструмента устроен более простой прибор — *теодолит,* который может быть использован любителем для описанных выше целей.

Способ употребления этого инструмента описан во многих книгах. Рекомендуем любителю воспользоваться книгой Б. А. Волынского «Астрономия» («Просвещение», 1971).

§ 15. Микрометры

В практике любительских научных наблюдений встречаются такие случаи, когда необходимо определить возможно более точные значения экваториальных координат небесного светила. Допустим, что найдена новая комета или вспыхнула новая звезда. Конечно, приближенные координаты можно определить, нанеся светило на звездную карту, но это будет очень неточно.

Гораздо более точные координаты можно определить при помощи простейшего прибора, который легко изготовить самому. Этот прибор — *кольцевой микрометр*. Он состоит из положительного окуляра, в переднем фокусе которого помещена прозрачная пластинка с нанесенным на ней непрозрачным кольцом (рис. 121). Для самостоятельного изготовления такого микрометра достаточно взять отфиксированную фотографическую пластинку, вырезать из нее круг такого диаметра, чтобы можно было вставить в оправу окуляра, и наклеить на нее металлическое кольцо.

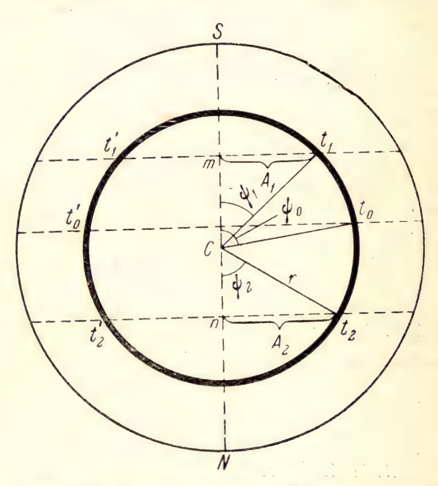


Рис. 121. Схема наблюдений с кольцевым микрометром.

Наблюдение состоит в следующем. Находим объект, положение которого мы хотим измерить, и устанавливаем телескоп

неподвижно, так, чтобы объект прошел в своем суточном движении недалеко от центра поля зрения. Для определения его координат нужны две звезды сравнения, которые в своем суточном движении также будут пересекать темное кольцо. Их координаты надо взять из каталога. Наблюдение состоит в отметке моментов захождения за «передний» край кольца и выхода из-за его «заднего» края звезд сравнения и объекта. При этом нет надобности пользоваться часами, а можно использовать секундомер; единственное условие состоит в том, что моменты должны быть отмечены возможно точнее.

Обозначим момент захода объекта и звезд сравнения за «передний» край кольца через t_0, t_1, t_2. Моменты выхода из-за «заднего» края обозначим через t'_0, t'_1, t'_2.

Проведем через центр поля зрения круг склонений NS. Тогда моменты прохождения всех светил через этот круг склонений определятся как полусуммы наблюденных моментов:

для объекта

$$\frac{t'_0 + t_0}{2} = \bar{t}_0,$$

для первой звезды сравнения

$$\frac{t'_1 + t_1}{2} = \bar{t}_1,$$

для второй звезды сравнения

$$\frac{t'_2 + t_2}{2} = \bar{t}_2.$$

Тогда прямое восхождение объекта можно вычислить по формуле

$$\alpha_0 = \alpha_2 + (\alpha_1 - \alpha_2)\,\frac{\bar{t}_2 - \bar{t}_0}{\bar{t}_2 - \bar{t}_1},$$

где α_0 — прямое восхождение объекта, α_1 и α_2 — прямые восхождения звезд сравнения.

Определение склонения требует более сложных вычислений. Надо прежде всего определить угловой радиус кольца. Рассматриваем два треугольника, которые легко найти на рис. 121. Из них находим

$$A_1 = r'' \sin\psi_1 = 15''\,\frac{t'_1 - t_1}{2}\cos\delta_1,$$

$$A_2 = r'' \sin\psi_2 = 15''\,\frac{t'_2 - t_2}{2}\cos\delta_2.$$

Здесь значок $''$ показывает, что величины выражены в секундах дуги.

В уравнения входят три неизвестных: r'', ψ_1 и ψ_2.

Определение δ_0 можно выполнить, исходя из следующих соображений. Из рис. 121 видно, что $mC = r'' \cos \psi_1$ и $nC = r'' \cos \psi_2$. Однако $mC + nC = (\delta_2 - \delta_1)'' = \Delta$ разности склонений звезд сравнения. Таким образом,

$$r'' (\cos \psi_1 + \cos \psi_2) = (\delta_2 - \delta_1)'' = \Delta.$$

Чтобы определить r'', надо исключить ψ_1 и ψ_2. Находим

$$\sin \psi_1 = \frac{A_1}{r''}; \quad \sin \psi_2 = \frac{A_2}{r''}$$

или

$$r'' \left[\sqrt{1 - \frac{A_1^2}{(r'')^2}} + \sqrt{1 - \frac{A_2^2}{(r'')^2}} \right] = \Delta.$$

Избавляясь от корней, вычисляем r'' по формуле

$$r''^2 = \frac{A_1^2 + A_2^2}{2} + \frac{\Delta^2}{4} + \frac{(A_1^2 - A_2^2)^2}{4\Delta^2}.$$

Найдя r'', мы можем определить склонение объекта, для чего используем формулу

$$\sin \psi_0 = \frac{15''}{r''} \frac{t_0' - t_0}{2} \cos \delta,$$

в которой можно под знаком косинуса принять приближенное значение склонения $\delta = (\delta_1 + \delta_2) : 2$. Тогда

$$\delta_0 = \delta_1 + r'' (\cos \psi_1 - \cos \psi_0),$$

если объект прошел выше центра поля зрения, и

$$\delta_0 = \delta_1 + r'' (\cos \psi_1 + \cos \psi_0),$$

если объект прошел ниже центра поля зрения.

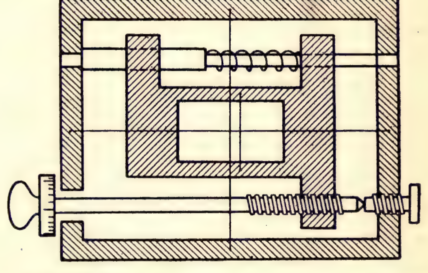


Рис. 122. Устройство окулярного микрометра.

Кольцевой микрометр — простейший прибор, вполне доступный для любителя астрономии. К тому же при выполнении наблюдений телескоп должен быть неподвижным, так что эти наблюдения не требуют часового механизма.

В практике относительных астрономических определений употребляется *окулярный микрометр*, схема устройства которого показана на рис. 122. Основная деталь микрометра — рамка, на которой натянуты нити, перемещаемые микрометрическим винтом; на барабане последнего нанесены деления, позволяющие измерять продольные перемещения нитей. Такого прибора обычно у любителя астрономии нет.

Микроскоп-микрометр является соединением в одну оптическую систему микроскопа и окулярного микрометра. Объектив

микроскопа создает изображение измеряемого предмета в своем главном фокусе. Здесь же располагаются нити окулярного микрометра, которые видны через положительный окуляр вместе с измеряемым предметом. Установив микроскоп-микрометр на прочной подставке, позволяющей положить измеряемый фотоснимок на столик и рассматривать последний в проходящем свете, мы можем с его помощью измерять одну из координат, что, в частности, необходимо при изучении метеорных снимков и метеорных спектрограмм (см. § 20).

§ 16. Методы визуальной фотометрии

Фотометрические определения можно выполнять различными методами. В настоящее время наибольшее развитие получил фотоэлектрический способ (см. § 19). Все еще широко применяется фотографический способ (см. § 18). Вместе с тем нельзя считать утратившим значение и способ визуальный. В следующем параграфе будет подробно рассказано о способах оценок блеска звезд, которые выполняются дифференциальным методом, т. е. путем сравнения с блеском окрестных звезд. Эти наблюдения достаточно точны, но требуют знания звездных величин звезд сравнения. Эти же данные приходится брать из каталогов, а в случае отсутствия таких данных — определять самим, что выполняется при помощи фотометра. Опытный любитель астрономии может изготовить визуальный фотометр и сам; однако для его использования необходимо иметь телескоп с часовым механизмом.

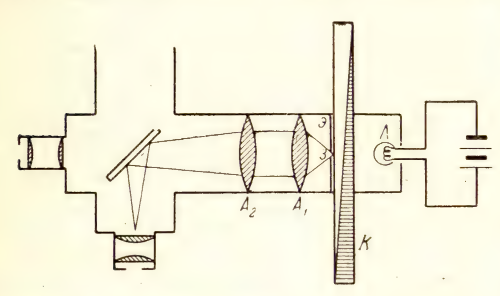


Рис. 123. Схема визуального фотометра Граффа.

Визуальные фотометры делятся на два типа: *звездные* и *поверхностные*.

а) Звездный фотометр с искусственной звездой сравнения. Фотометр состоит из двух объединенных оптических систем, создающих изображения естественной и искусственной звезд в главной фокальной плоскости телескопа. Наиболее простым является *фотометр Граффа*. Он состоит из небольшой трубки (рис. 123), в которой располагаются небольшая лампочка *Л*, фотометрический клин *К*, непрозрачный экран *э*, в котором сделано «точечное» отверстие — искусственная звезда з. Затем следует линза A_1, установленная таким образом, что точка з находится в ее главном фокусе и из A_1 выходит параллельный пучок лучей. Этот пучок поступает затем в линзу A_2, которая создает изображение искусственной

звезды в главном фокусе телескопа после отражения в плоско-параллельной прозрачной пластинке, поставленной на пути лучей под углом 45°. При этом, конечно, значительная часть света искусственной звезды теряется, но это не так важно.

Оба изображения — естественной и искусственной звезд — рассматриваются в положительный окуляр.

Для изменения блеска искусственной звезды служит фотометрический клин *К*. Он укрепляется внутри специальной рамки, скользящей в продольном направлении в направляющих и передвигаемой кремальерой. Тут же находится разделенная шкала, которая позволяет измерять, насколько вдвинут клин.

Настоящий фотометрический клин, изготовленный из нейтрального стекла, достать очень трудно. Удовлетворительный клин можно сделать из обычной фотографической пластинки путем изготовления контактного отпечатка клина, взятого из сенситометра. Он не нейтрален и поглощает лучи различных длин волн по-разному, но с этим можно мириться. Калибровку клина можно сделать по наблюдениям звезд, у которых звездные величины уже известны. Только при этом придется учитывать поглощение света в земной атмосфере — экстинкцию (см. § 5, гл. III). Затем следует помнить, что накал лампочки надо контролировать электроизмерительным прибором. Далее, может оказаться, что звезды естественные и искусственная будут существенно отличаться по цвету. Тогда надо подобрать нужный светофильтр и ввести его в систему, создающую изображение искусственной звезды.

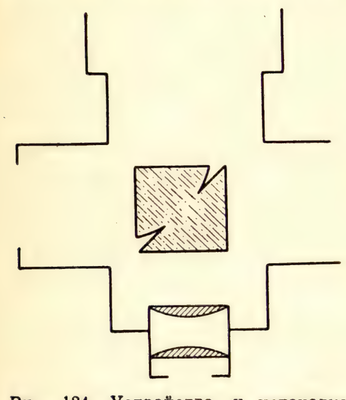
Существуют также фотометры с естественной звездой сравнения, но они устроены сложнее и мы описывать их не будем.

б) Фотометры для измерения яркости протяженных объектов. В этих фотометрах создается небольшая равномерно освещенная искусственным источником света площадка, которая приводится в соприкосновение с изображением протяженного небесного объекта. Обе площадки обладают некоторым контрастом. Яркость изображения искусственной площадки изменяется по желанию наблюдателя в известное число раз до тех пор, пока граница, отделяющая ее от изображения небесного тела, не исчезнет. Это положение соответствует равенству яркостей.

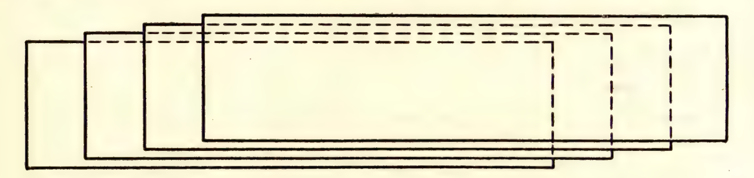
Самое трудное при изготовлении такого фотометра — создание искусственной светящейся площадки переменной яркости. Для этого применяют кубик Люммера — Бродхуна, состоящий из сложенных вместе призм полного внутреннего отражения (рис. 124), из которых одна соответствующим образом сошлифована. За подробностями отсылаем к руководствам по практической астрофизике.

Гораздо проще изготовить искусственную шкалу яркостей и применять ее при оценке яркости протяженных объектов.

Для этого надо использовать оптическую схему фотометра Граффа, но вместо клина и диафрагмы с искусственной звездой установить матовое стекло, освещаемое напросвет лампочкой. Сразу же после матового стекла нужно установить «фотометрическую шкалу», которую можно приготовить так. Засвечиваем равномерным светом обычную фотографическую пленку, но не очень сильно. Затем разрезаем ее на полоски и накладываем их «лесенкой», как это показано на рис. 125. Мы получим ступенчатый клин. Его можно еще раз отпечатать на пластинке, и на ней получится полоска шкалы почернений. Такой ослабитель, будучи помещенным вместо звезды сравнения в фотометр Граффа, даст возможность увидеть одновременно и яркую полоску, состоящую из квадратиков, имеющих убывающие яркости, и небесное светило, в одном поле зрения. Яркость диффузного светила, кометы или метеорного следа можно оценивать в долях интервала этой шкалы.


Рис. 124. Устройство и установка кубика Люммера — Бродхуна в поверхностном фотометре.

Для обработки наблюдений надо шкалу исследовать. Это можно сделать, наблюдая экстрафокальное изображение какой-либо яркой звезды. Выводим изображение звезды из фокуса до тех пор, пока его падающая яркость не сравняется с яркостью самой яркой ступеньки шкалы. Затем выдвигаем окуляр еще больше, пока яркость диска не сравняется с яркостью следующей площадки и т. д. Теперь, если измерить диаметры внефокальных дисков, можно вычислить и яркости: они будут обратно пропорциональны квадратам диаметров. Для измерения диаметров можно воспользоваться суточным движением небесной сферы. Для этого надо пронаблюдать, в течение какого времени экстрафокальный диск звезды будет заходить за край поля зрения окуляра; допустим, что это произошло за τ_1 секунд. Тогда диаметр диска будет равен


Рис. 125. Устройство ступенчатого клина для визуального фотометра.

$$d_1 = 15''\tau_1 \cdot \cos\delta.$$

Если нужно абсолютизировать эти оценки, то надо пронаблюдать еще какой-либо объект с известной яркостью, например, какую-либо из туманностей.

Описанный поверхностный «шкальный» фотометр может дать возможность исследовать закон падения яркости метеорных следов, которые бывают видны в телескоп еще несколько минут после полета метеора.

§ 17. Глазомерные оценки блеска звезд

Мы уже упоминали, что в практике астронома-любителя находят широкое применение глазомерные дифференциальные оценки блеска. Они производятся как визуально, при наблюдениях неба в бинокль или телескоп, так и на фотографических снимках.

а) Методы оценок. Старейший из методов, способ Аргеландера, состоит в следующем. Определяя блеск звезды, обозначаемой буквой v, подбираем подходящую звезду сравнения, скажем, a. Внимательно вглядываемся поочередно в обе звезды, сравнивая их блески. Если блеск звезды a кажется нам равным блеску звезды v, то мы пишем $a = v$. Если после длительного сравнения блеск a кажется нам чуть-чуть бо́льшим, чем блеск звезды v, то мы говорим, что блеск a на одну степень светлее блеска v и пишем $a1v$. Если блеск звезды a кажется нам уверенно бо́льшим блеска звезды v, то мы говорим, что блеск a на две степени больше блеска v и пишем $a2v$. Постепенно у наблюдателя вырабатывается величина степени, так что он может оценить бо́льшие разности, как $a3v$, $a4v$. При разностях блеска, бо́льших 4-х степеней, надо переходить к другой звезде сравнения. При оценке блеска обычно употребляется не одна звезда сравнения, а несколько, желательно близких, с возможно меньшими разностями блесков.

Другой, более уверенный способ был предложен Пикерингом. Этот способ чисто интерполяционный. Выбирают две звезды сравнения так, чтобы одна была ярче определяемой, а другая слабее. Обозначим более яркую звезду буквой a, определяемую v, и более слабую b. Делим интервал блесков a и b на 10 частей. Оцениваем разность блесков a и v в долях интервала $[a, b]$. Так появляются оценки $a5v5b$, $a1v9b$, $a8v2b$ и т. д. Обозначение более яркой звезды всегда пишется первым. Конечно, этот метод точнее способа Аргеландера, но, как мы увидим далее, для обработки необходимо знать звездные величины звезд сравнения, которые не всегда известны.

С. Н. Блажко и А. А. Нейланд предложили другой метод, который сочетает положительные стороны способов Аргеландера и Пикеринга. При наблюдениях используют две звезды сравнения, как в способе Пикеринга, но делят интервал блесков звезд сравнения не на 10 частей, а на такое их количество,

которое равно числу степеней, которое оценивает наблюдатель — так, как это было принято в способе Аргеландера. Точнее поступают так: сравнивают разность блесков a и v по методу Аргеландера, а затем оценивают, каков интервал между v и b по сравнению с интервалом между a и v. Допустим, для определенности, что интервал a и v был равен трем степеням; сравнивая интервалы a, v и v, b, оценивают последний, скажем, в два раза бóльшим. Тогда интервал v и b должен быть равен шести степеням, и оценка запишется так: $a3v6b$.

б) Вычисление блеска. Сначала покажем, как вычислять блеск по способу Пикеринга. Пусть оценка имела вид $apvnb$, и звездные величины звезд сравнения равны m_a и m_b. При этом $p + n = 10$. Тогда, выполняя простое интерполирование, найдем

$$m_v = m_a + \frac{m_b - m_a}{10} p.$$

Звездные величины надо взять из каталога или определить при помощи фотометра.

При использовании способа Нейланда — Блажко (так же, как Аргеландера) знание звездных величин звезд сравнения не обязательно, так как можно и нужно построить собственную шкалу блеска. Для этого из всех оценок вычисляются разности вида $b - a$, $c - b$, $d - c$ и т. д. и образуется среднее значение каждой из разностей. Приняв блеск самой яркой звезды за нуль, получают общую шкалу, как показано в следующем примере.

Пусть, например, при осреднении получено: $b - a = 5{,}8$; $c - b = 3{,}4$; $d - c = 6{,}2$. Приняв, что блеск $a = 0{,}0$, находим последовательно $b = 5{,}8$, $c = 9{,}2$, $d = 15{,}4$.

Получив шкалу блеска звезд сравнения, вычисляют оценки, производя интерполирование. Допустим, что оценка имеет вид: $apvqb$. Из степеннóй шкалы имеем разность блесков $b - a$, а из данной оценки этот же интервал равен $p + q$. Тогда блеск переменной звезды v, который мы оценивали, вычисляется по формуле

$$v = a + \frac{b - a}{p + q} p.$$

Поясним это примером. Оценка $c3v2d$ вычисляется в приведенной выше шкале так: $v = 9{,}2 + \frac{15{,}4 - 9{,}2}{5} \cdot 3 = 12{,}9$.

При этих вычислениях большую пользу приносит логарифмическая линейка.

в) Уравнивание шкал. Если для ряда звезд сравнения известны звездные величины, то можно «привязать» к ним степеннýю шкалу, установив, чему равна величина степени s, и перевести блеск наблюдавшейся звезды в звездные величины.

Делается это так. Считая, что зависимость между степенно́й шкалой и шкалой звездных величин линейная, пишем для каждой звезды уравнение

$$m_k = m_0 + sp_k,$$

в котором m_0 (нуль-пункт звездных величин) и s (величина степени) — неизвестные, подлежащие определению. Система n уравнений решается по способу наименьших квадратов, определяются m_0 и s, после чего они подставляются в исходное уравнение

$$m = m_0 + p \cdot s$$

и по величинам p_k вычисляются для каждой звезды «исправленные» значения звездных величин звезд сравнения.

Пример. Для группы звезд сравнения получена степенна́я шкала блесков p. Некоторые из звезд сравнения имеют каталожные звездные величины $m_{кат}$. Приводим их в следующей таблице:

Звезда	p	$m_{кат}$	Уравнение	$m_{выч}$	Разность
a	0,0	—	—	7,62	—
b	5,7	8,17	$m_0 + 5{,}7s = 8{,}17$	8,13	−0,04
c	8,3	8,33	$m_0 + 8{,}3s = 8{,}33$	8,32	−0,01
d	11,1	8,54	$m_0 + 11{,}3s = 8{,}54$	8,52	−0,02
e	15,6	8,72	$m_0 + 15{,}6s = 8{,}72$	8,84	+0,12
f	20,3	—	—	9,18	—
g	27,2	9,73	$m_0 + 27{,}2s = 9{,}73$	9,68	−0,05

Нормальные уравнения имеют вид

$$5m_0 + 69{,}9s = 43{,}49,$$

$$69{,}9m_0 + 1207{,}79s = 611{,}19.$$

Их решение таково:

$$m_0 = 7{,}72, \quad s = 0{,}0721.$$

Формула для вычисления «исправленных» звездных величин по данным степенной шкалы:

$$m = 7{,}72 + 0{,}0721p.$$

По ней вычислены звездные величины $m_{выч}$.

Более подробное описание способов обработки наблюдений и тех систематических ошибок, которыми эти наблюдения отягощены, можно найти в следующих книгах: В. П. Цесевич «Переменные звезды и способы их исследования» («Педагогика», 1970) и «Методы исследования переменных звезд» («Наука», 1971).

г) Оценка блеска очень ярких объектов. Может оказаться, что надо определить блеск такого объекта, который ярче всех звезд сравнения, например, определить блеск Венеры, Юпитера или полной Луны. Как поступить в этом случае?

Один из способов состоит в наблюдении светила при помощи перевернутого бинокля или телескопа. Если направить оптический прибор окуляром вперед, а объективом к наблюдателю, то мы увидим звездоподобное ослабленное изображение объекта, даже Луны. Мы оцениваем тогда блеск этого изображения по сравнению с блеском соседних звезд, рассматриваемых невооруженным глазом. Для вычислений нам надо знать, насколько ослабляет блеск светила перевернутый инструмент. Для этого надо пронаблюдать также блеск какой-либо яркой звезды, для которой известна звездная величина, например, Веги. Таким образом, мы определим ту «поправку», которую надо придать к вычисленному обычным путем блеску.

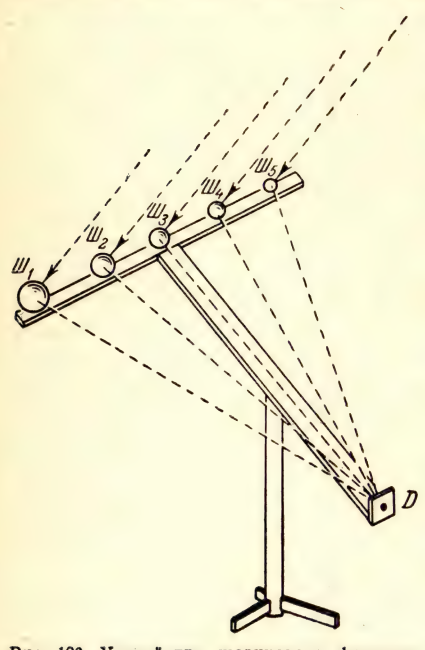


Рис. 126. Устройство шарикового фотометра. $Ш_1$, $Ш_2$, ..., $Ш_5$ — блестящие шарики, D — диоптр.

Второй способ связан с изготовлением простого прибора — «*шарикового фотометра*» (рис. 126). На планке длиной 1—2 *м* укрепляется поперечная перекладина, на которой устанавливается несколько блестящих шариков различных размеров (вполне пригодны шарики из подшипников). На втором конце устанавливается диоптр D. Поместив прибор на простой подставке, располагаем его таким образом, чтобы шарики были видны сквозь диоптр на фоне полярной области звездного неба. От каждого шарика мы увидим отраженное, звездообразное, ослабленное изображение Луны. Наблюдение состоит в сравнении при помощи любого метода блеска этих изображений с блесками окрестных звезд. Особенно полезен этот простой прибор при наблюдениях общего блеска Луны во время лунных затмений. Для этого и берется несколько различных шариков, так как во время полного затмения Луны амплитуда колебаний общего блеска очень велика.

Хотя ослабление изображений можно вычислить по формуле

$$C = -2{,}5 \lg \frac{\rho R^2}{\Delta^2},$$

где ρ — коэффициент отражения поверхности шарика, R — его радиус, а Δ — расстояние шарика от глаза наблюдателя, «фото-

метр» приходится еще градуировать по наблюдениям отражений блеска от очень ярких объектов. При наблюдениях с несколькими шариками ряды оценок надо связывать между собой повторными измерениями различных изображений.

Можно вместо визуальных наблюдений производить фотографические. Тогда вместо диоптра на нижнем конце продольного шеста помещают фотоаппарат и с его помощью снимают «лунные изображения» совместно с фоном полярной области неба.

Вполне естественно, что при этих наблюдениях надо учитывать атмосферную экстинкцию, для чего необходимо попутно определять коэффициент атмосферной прозрачности по звездам.

§ 18. Основы фотографической фотометрии небесных светил

О яркости или блеске небесного светила можно судить по почернению его изображения, получающегося на фотографическом снимке. Мерой служит оптическая плотность изображения. Для ее определения рассматривают снимок в проходящем свете. Тогда, если F_0 — интенсивность излучения, упавшего на негатив, а F — интенсивность прошедшего сквозь него излучения, оптическая плотность определяется формулой

$$D = \lg \frac{F_0}{F}.$$

Фотографический процесс обладает рядом особенностей. Пусть при экспонировании пластинки на нее упало количество света, равное H. После проявления и фиксирования мы получаем снимок, на котором образовалось изображение, имеющее почернение D. Если на снимке получены изображения нескольких объектов, характеризующихся различными значениями H, то эти изображения будут иметь различные почернения D. Откладывая эти величины на графике, как показано на рис. 127, мы получим *характеристическую кривую* данной фотопластинки. На ней можно выделить три участка. Левый нижний, искривленный участок, соответствует таким изображениям, плотность которых мала; это область недодержек. Правый, верхний

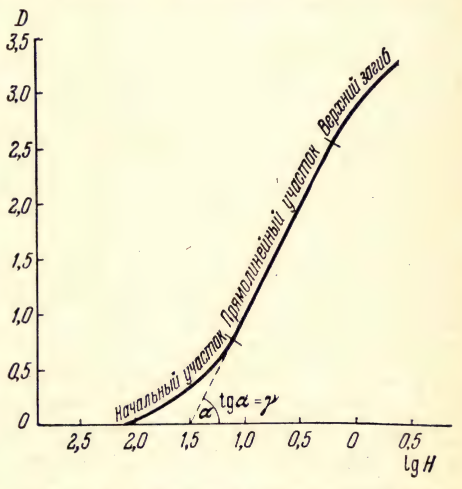


Рис. 127. Построение характеристической кривой.

участок соответствует очень большим плотностям, изображения передержаны; этот участок также искривлен. Средняя часть прямолинейна. Это область нормально выдержанных изображений. Продолжая этот прямолинейный участок вниз, до пересечения с осью $\lg H$, мы получим угол наклона α. Величина $\gamma = \operatorname{tg} \alpha$ называется *градиентом плотности* или *коэффициентом контрастности* эмульсии. Это одна из основных характеристик фотографической эмульсии. Если коэффициент контрастности велик, то это означает, что характеристическая кривая идет круто и малому изменению интенсивности излучения соответствует большое изменение плотности почернения; такие эмульсии наиболее пригодны для фотометрических целей.

Вторая величина характеризует чувствительность эмульсии. Это величина H_i, при которой продолжение прямолинейной части характеристической кривой пересекает горизонтальную ось. Чем левее расположена эта точка, тем чувствительнее данная эмульсия. При получении большинства астрономических снимков надо использовать фотоматериалы возможно большей чувствительности.

Третье свойство фотографической эмульсии связано с влиянием увеличения экспозиции на повышение плотности изображения. К. Шварцшильд открыл одно важное явление. Допустим, что мы будем фотографировать объекты, обладающие различной интенсивностью излучения, с различными экспозициями, и будем добиваться такого результата, чтобы плотность изображений была одинаковой. Оказывается, что для этого должно быть справедливым уравнение

$$Et^p = \text{постоянной},$$

где E — освещенность, t — время экспозиции, а p — *коэффициент Шварцшильда,* который меньше единицы. Чаще всего он равен 0,8—0,9. Это означает, что для повышения проницающей способности снимка на одну звездную величину нужно увеличить экспозицию не в 2,512 раза, а примерно в три и более раз.

Особое значение этот закон Шварцшильда имеет для фотометрии метеоров. Метеорные изображения получаются с малыми экспозициями, так как метеор летит очень быстро и все явление длится доли секунд. Сравнивая почернение метеорного изображения с почернениями изображений звезд, можно судить о блеске метеора. Если снимок получен неподвижной камерой, то изображения звезд — длинные дуги, вытянутые вдоль суточных параллелей. Измерив почернения и зная звездные величины звезд, можно построить характеристическую кривую снимка. Однако тут мы должны учитывать закон Шварцшильда, так как изображения метеора и звезды получены при разных экспозициях. Для применения закона Шварцшильда надо знать скорость движения метеора и заранее определить опытным путем коэффициент p.

Фотометрическое изучение негатива, на котором получены изображения протяженных объектов или метеора, требует применения специальных приборов, измеряющих почернения — *микрофотометров.* Если метеорный снимок калибруется по звездным изображениям, то для калибровки других снимков надо заранее получать на них калибровочные шкалы. Для этого на пластинке получают изображения нескольких источников света, у которых известны яркости; по получившимся почернениям строят характеристическую кривую.

Гораздо доступнее для любителя астрономии получение и изучение снимков звездных полей, производимых при помощи широкоугольных астрографов.

На таком снимке обычно получаются изображения нескольких переменных звезд. Самые простые оценки фотографического блеска по любому из методов дают возможность исследовать эти переменные звезды, если серия снимков достаточно велика. При этом наблюдатель получит и степенные шкалы блеска звезд сравнения. Если же он захочет перевести степени в звездные величины, то ему придется определить звездные величины звезд сравнения. Тут мы и встретимся с основной задачей фотометрического изучения звездных снимков — с определением звездных величин звезд по почернениям их изображений.

При решении этой задачи наблюдателю придется прибегнуть к помощи микрофотометра, с помощью которого он должен определить общий фотографический эффект — полное почернение всего изображения звезды.

На хорошем звездном снимке изображение звезды имеет вид небольшого кружка. Чем ярче звезда, тем больше диаметр этого кружка и тем больше его почернение. Фотографический блеск звезды до некоторой степени характеризуется диаметром этого кружка. Поэтому, не располагая микрофотометром, но имея в своем распоряжении микроскоп-микрометр, наблюдатель может заменить фотометрирование измерением диаметров звездных изображений.

Однако наблюдатель, умеющий хорошо оценивать «блеск» методом Пикеринга или Нейланда — Блажко, может изготовить искусственную шкалку и обойтись без других приборов.

Для получения шкалки наводим астрограф на какую-либо яркую звезду и получаем снимок с очень короткой экспозицией. Затем перемещаем камеру на небольшой угол, изменив склонение, и снова получаем снимок той же звезды, но с вдвое большей экспозицией. Еще раз передвигаем камеру по склонению и получаем новый снимок, снова удвоив последнюю экспозицию и т. д.

В результате мы получаем на снимке «цепочку» из 6—8 изображений яркой звезды, причем фотографический эффект вдоль этой цепочки будет увеличиваться. После проявления, фиксирования, промывки и высушивания снимка берем лист

черной бумаги и вырезаем в нем «окно». Покрываем этот лист бумаги тонким слоем клея и наклеиваем на желатиновый слой снимка так, чтобы в окно была видна шкалка и небольшая соседняя с ней область.

Теперь мы можем накладывать шкалу на изучаемый снимок звездного неба, складывая их желатинными слоями вместе. Защитный слой бумаги предохранит изучаемую пластинку от царапин. Изготовленная таким способом шкалка позволит «переносить» информацию о звездах с одного места пластинки на другое и с одной пластинки на другую.

Для любых фотометрических исследований надо прежде всего изучить ошибку поля камеры. Напоминаем, что при снимках, получаемых широкоугольными камерами, существенное значение имеет виньетирование. На краях поля зрения изображения звезд ослаблены. Было предложено много способов изучения ошибки поля, но наилучший из них состоит в получении снимка большого по протяженности стандарта*). Тогда, построив характеристическую кривую пластинки по звездам, снятым в центре поля, определяют по ней звездные величины «краевых» звезд и определяют разности между полученными величинами и теми, которые приведены в стандарте. Величину получившихся отклонений изучают в зависимости от расстояния от центра снимка.

Как это сделать при помощи шкалки?

Для этого совмещают шкалку с центральной частью снимка. Затем оценивают каждую из «звездочек» шкалки, сравнивая с теми звездами стандарта, для которых известны звездные величины. Вычислив эти оценки, мы узнаем звездную величину каждого из изображений шкалки для этой пластинки.

После этого можно определить звездные величины любой из звезд, изображения которых имеются на данном снимке. Определяя звездные величины звезд, входящих в стандарт, мы можем изучить ошибку поля.

Это также позволит определить звездные величины нужных нам звезд; при этом мы уже сможем оценить и ошибку поля и за счет нее исправить полученные данные.

Так определяются звездные величины, если на данном снимке получились изображения звезд, входящих в стандарт.

К сожалению, стандарты разбросаны по небесной сфере не очень плотно и может случиться, что в нужной нам области неба нет стандарта. Тогда делают два независимых снимка с одинаковой экспозицией в такие моменты, когда зенитные расстояния звезд, служащих для гидирования, близки друг к другу. При этом пластинка разрезается на две половины или берутся две пластинки из одной коробки. Проявляются они вместе, чтобы оба снимка были поставлены в одинаковые условия. Тогда

*) В качестве стандарта рекомендуются Гиады или Волосы Вероники.

мы можем калибровать шкалку по изображениям звезд стандарта, вышедших на одном снимке, и считать, что эта калибровка такая же для второго снимка, на котором мы будем определять звездные величины нужных нам звезд.

При получении снимков необходимо учитывать состояние неба. Снимки только тогда годятся для фотометрических работ, если небо вполне ясное и прозрачность хороша. Кроме того, необходимо учитывать атмосферную экстинкцию.

В заключение заметим, что у каждого наблюдателя своя собственная система звездных величин, даже в том случае, если он привязывает ее к надежному стандарту. Это вызвано различной прозрачностью объектива и разной чувствительностью фотографической эмульсии к излучениям различных длин волн. Поэтому, стандартизуя шкалку, надо использовать белые звезды с малыми показателями цвета. Определив затем звездные величины красных звезд и составив разности с каталожными звездными величинами δ, надо сравнить их с показателями цвета C. Из формулы $\delta = cC$ можно определить параметр цветности системы наблюдателя c и эффективную длину волны, к которой отнесены определяемые им фотографические звездные величины.

Укажем еще на то, что коллекция хороших фотографических снимков позволяет отыскивать по ним новые переменные звезды и обнаруживать вспышки новых звезд сравнением снимков. Для этого созданы специальные приборы — *стереокомпараторы* и *блинк-микроскопы*, которых в распоряжении любителя нет. Но есть один способ, который позволяет выполнять сравнение без каких-либо сложных приборов.

Для этого приготовляют на диапозитивной пластинке отпечаток (позитив) какого-либо из хороших снимков. На нем фон получается темным, а изображения звезд — прозрачными кружками. Складывая слоем к слою позитив и более поздний снимок звездного неба так, чтобы изображения совпали, мы производим их осмотр при помощи лупы. Если не произошло никаких изменений, то прозрачные кружки совпадут с черными изображениями звезд и сложенные снимки будут выглядеть равномерным серым фоном. Если какая-либо звезда ослабла, то мы увидим светлое кольцо, с черной точкой внутри. Если же вспыхнула новая звезда, или какая-нибудь звезда усилила свой блеск, то на сером фоне будет видна черная точка. Очень большое количество переменных звезд открыто именно этим способом.

§ 19. Фотоэлектрические методы исследования звезд

Одним из современных методов исследования небесных объектов является фотоэлектрическая фотометрия. В отличие от визуальной и фотографической фотометрии, фотоэлектрическая фотометрия благодаря использованию современной электронной

аппаратуры и тщательному учету всех поправок может достигать точности $0^m,005$. Большая проницающая способность электрофотометрии, высокая точность, возможность измерения световых потоков в различных участках спектра позволяют решать многие важные астрофизические задачи. Все больше и больше электрофотометрия проникает и в другую область астрофизических исследований — спектрофотометрию. Большую роль сыграл электрофотометрический метод и в измерении поляризации света небесных объектов.

В принципе фотоэлектрического измерения блеска лежит преобразование светового потока от небесного объекта в электрический сигнал, который усиливается в миллионы раз и измеряется электронной аппаратурой.

Преобразование световой энергии в электрическую осуществляется с помощью фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) для области спектра от ультрафиолета до ближней инфракрасной области, фотосопротивлений или болометров для инфракрасной области спектра.

а) Фотоэлектронные умножители. Фотоумножители (ФЭУ) сочетают в себе свойства фотоэлемента и электронного усилителя сигнала и позволяют получать на выходе сигнал, уже усиленный в $10^6 \div 10^8$ раз. Усиление фототока с фотокатода ФЭУ достигается благодаря использованию явления вторичной электронной эмиссии с промежуточных между катодом и анодом эмиттеров. Современные фотоумножители имеют до 14 каскадов умножения. Основными характеристиками фотоумножителей являются область спектральной чувствительности, чувствительность фотокатода в *мка/лм*, анодная чувствительность в *а/лм* при определенном напряжении питания ФЭУ, темновой ток в *а*, соответствующий этому же напряжению питания, диаметр фотокатода в *мм*.

Область спектральной чувствительности и чувствительность фотокатода зависят от материала, из которого он изготовлен. Наибольшей чувствительностью обладают мультищелочные фотокатоды, затем сурьмяно-цезиевые и более низкой — кислородно-цезиевые. Область спектральной чувствительности для этих трех основных типов фотокатодов следующая: для кислородно-цезиевых от 4000 до 12 000 Å, мультищелочных — от 3000 до 8200 Å, сурьмяно-цезиевых — до 6500 Å. Большая чувствительность фотокатодов и большой коэффициент усиления позволяют измерять с помощью фотоумножителей световые потоки порядка $10^{-14} \div 10^{-16}$ *лм*. Предел измерения слабых световых потоков определяется уровнем темнового тока ФЭУ, который может быть существенно уменьшен путем охлаждения фотокатода ФЭУ, особенно для мультищелочных и кислородно-цезиевых фотокатодов.

Большим достоинством фотоумножителей является пропорциональность изменения фототока на его выходе в зависимости

от величины падающего светового потока на фотокатод, т. е. фотоумножитель является линейным усилителем, в отличие от фотографической эмульсии. Разность звездных величин двух звезд m_1 и m_2, которые вызывают появление фототоков i_1 и i_2 при величине темнового тока $i_т$, равна

$$\Delta m = m_2 - m_1 = -2{,}5 \lg \frac{i_2 - i_т}{i_1 - i_т}. \qquad (4.9)$$

При конструировании фотометра необходимо учитывать следующие особенности работы с фотоумножителями, вытекающие из их свойств. Монтаж фотоумножителя должен производиться на панели из хорошего изолятора (тефлон, полистирол, микапол и др.) для устранения утечек по панели; колба фотоумножителя и панелька с делителем, а также поддерживающие кольца должны быть тщательно очищены. Блок, где монтируется фотоумножитель с панелькой делителя напряжения, должен быть светонепроницаемым и герметичным для предотвращения попадания влаги из воздуха, снабжен сменными патронами осушки. Для защиты фотоумножителя от воздействия внешних магнитных полей, в том числе и от магнитного поля Земли, блок фотоумножителя необходимо помещать в магнитный экран из мягкого железа. В случае применения охлаждения ФЭУ необходимо предусмотреть термостатирование фотоумножителя с точностью около 1° С, так как многие типы фотокатодов изменяют свою спектральную чувствительность с изменением температуры. Это наиболее удобно выполнить для фреонных или термоэлектрических холодильников, процесс охлаждения в которых может регулироваться. Менее удачными в этом отношении являются холодильники с использованием твердой углекислоты, где температура в холодильной камере зависит от времени, прошедшего с начала загрузки углекислоты и от величины начального количества «сухого льда».

Наилучшими образцами современных отечественных фотоумножителей для звездной фотометрии являются следующие: мультищелочные ФЭУ-79, ФЭУ-69Б, ФЭУ-68; сурьмяно-цезиевые ФЭУ-64, ФЭУ-60; кислородно-цезиевые ФЭУ-83, ФЭУ-90, ФЭУ-62 и др.

Питание фотоумножителей может осуществляться от любого высоковольтного источника со стабильным напряжением. В простейшем случае ФЭУ можно питать непосредственно от анодных батарей, соединенных последовательно для получения необходимого паспортного или выбранного оптимального значения напряжения питания ФЭУ.

Напряжение питания фотоумножителя подается на делитель напряжения, который служит для сообщения каждому последующему эмиттеру более высокого потенциала, чем имеет предыдущий. Схема делителя напряжения и подключения к ФЭУ

регистрирующего прибора показана на рис. 128. Так как в астрофотометрии чаще всего приходится иметь дело со слабыми световыми потоками, то общее сопротивление делителя напряжения подбирается таким, чтобы обеспечить наиболее экономичный расход электроэнергии от высоковольтного источника, что наиболее существенно при питании от батарей. Для

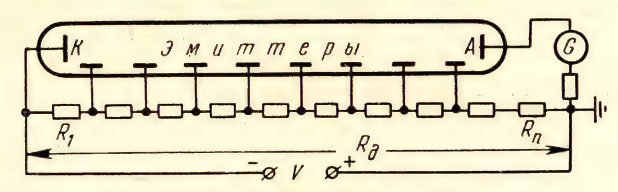


Рис. 128. Схема делителя напряжения питания фотоумножителя и подключения измерительного прибора.

звездной электрофотометрии общее сопротивление делителя напряжения выбирается порядка 3 *Мом*. Делитель напряжения напаивается обычно на панельке ФЭУ и может быть выполнен из резисторов типа МЛТ мощностью не менее 1 *вт*. Панельки ФЭУ чаще всего приходится изготовлять на месте, варианты конструкции их могут быть самые различные, но при этом необходимо, чтобы контактные лепестки панельки как можно большей поверхностью прилегали к штырькам ФЭУ для обеспечения надежного контакта.

В заключение надо напомнить, что при работе с фотоумножителями, батареями, выпрямителями необходимо соблюдать крайнюю осторожность во избежание поражения электрическим током высокого напряжения.

б) Электрометрические усилители фототока. Большая чувствительность и усиление, даваемые фотоумножителями, оказываются все же недостаточными, чтобы регистрировать фототоки от слабых звезд непосредственно гальванометром. Кроме этого, при применении самопишущего прибора необходимо устройство для согласования выхода фотоумножителя со входом самопишущего устройства. Для этой цели используются электрометрические усилители, имеющие большое входное сопротивление (порядка десятков и сотен мегом) и малое выходное сопротивление (сотни ом), которые позволяют усиливать токи величиной в $10^{-12} \div 10^{-14}$ *а*. Существует несколько методов усиления и регистрации фототока: усилители сигналов постоянного тока, усилители переменного тока, счетчики фотоэлектронов. Исследования, проведенные различными авторами, показали, что все эти методы дают примерно одинаковый эффект. Наиболее простым является метод усиления сигналов постоянного тока. Усиление фототока осуществляется здесь с помощью электрометрических усилителей постоянного тока (ЭУПТ), первый каскад которых может быть выполнен на спе-

циальных электрометрических лампах, на обычных радиолампах, поставленных в электрометрический режим, или на полевых транзисторах. На рис. 129 приведена схема ЭУПТ на двойном электрометрическом тетроде типа 2Э2П, которая широко используется в современной звездной электрофотометрии. Фотометр, выполненный по этой схеме, прост в наладке и обладает

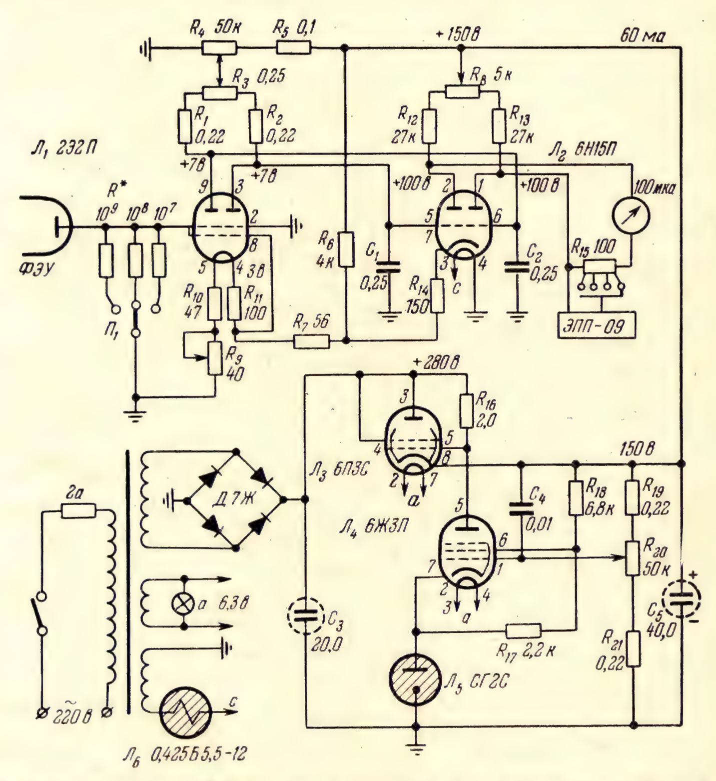


Рис. 129. Электрометрический усилитель постоянного тока на электрометрической лампе.

большой стабильностью и чувствительностью. На рис. 130 приведена схема ЭУПТ на кремниевых полевых транзисторах КП103, разработанная на Одесской астрономической обсерватории В. Н. Ивановым.

При конструировании фотометра и монтаже ЭУПТ необходимо электрометрический каскад располагать в непосредственной близости от ФЭУ, чтобы устранить наводки на провод, соединяющий выход ФЭУ со входом ЭУПТ. Электрометрический каскад должен быть тщательно экранирован и помещен в светонепроницаемый корпус. Благодаря малому количеству деталей ЭУПТ могут быть смонтированы непосредственно в блоке ФЭУ, особенно по схеме рис. 131. Для предотвращения

возникновения токов утечки все детали ЭУПТ, особенно электрометрического каскада, должны быть тщательно обезжирены; монтаж необходимо производить на стойках из высококачественного изолятора (полистирол, тефлон).

Для подавления флуктуаций, вызываемых шумами ФЭУ и мерцаниями звезды, постоянную времени усилителя целесообразно делать не менее 10 *сек*; при этом не имеет существенного значения, какой элемент схемы будет ее создавать: входная цепь, промежуточные каскады или региструющий прибор. В современных фотометрах для более точного осреднения флуктуаций фототока, вызванных шумами ФЭУ и мерцанием звезды,

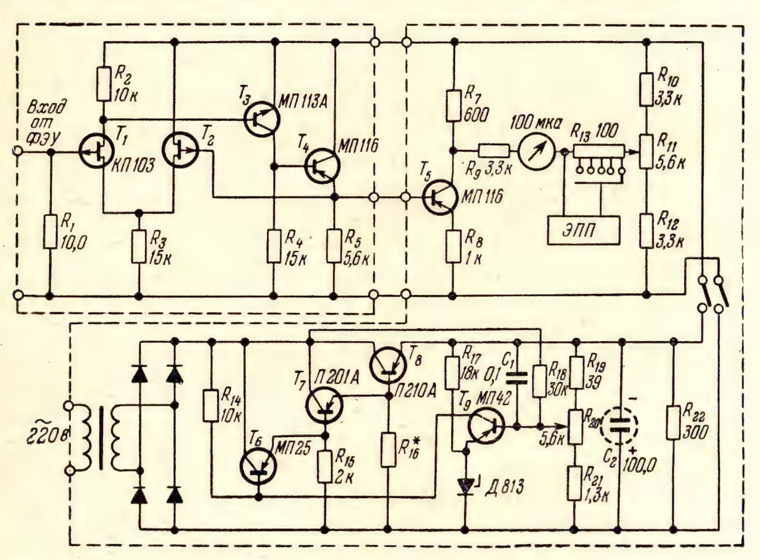


Рис. 130. Электрометрический усилитель постоянного тока на кремниевых полевых транзисторах.

все чаще применяют интегрирующие ячейки и операционные усилители, что повышает точность наблюдений и позволяет наблюдать более слабые звезды. Регистрация усиленного фототока производится с помощью самопишущих потенциометров типа ЭПП-09, цифровых вольтметров, преобразователей типа аналог — код для ввода данных в ЭВМ.

Фотоэлектрический фотометр. Оптическая схема современного фотоэлектрического фотометра приведена на рис. 131. Перед фокальной плоскостью телескопа ставится откидное зеркало поля *З*, которое предназначено для поиска, отождествления и точного наведения телескопа на исследуемый объект. Для этого в окуляре поля $Ок_1$ делается перекрестье, освещаемое лампочкой. В фокальной плоскости телескопа располагается блок диафрагм *Д*, представляющий собой диск или

сектор с набором диафрагм размером от 30″ до 2′. За блоком диафрагм располагается призма *П* с окуляром $Ок_2$ диафрагменного микроскопа, которые позволяют контролировать положение звезды в диафрагме. При введении призмы *П* на фотокатод ФЭУ может быть направлен световой поток от радиоактивного эталона (люминофора) *Эт*, который предназначен для контроля постоянства чувствительности аппаратуры. Перекрытие светового потока на ФЭУ для регистрации величины темнового тока осуществляется затвором *Зт*. Перед фотокатодом ФЭУ устанавливается линза Фабри *Ф*, которая строит на фотокатоде изображение входного отверстия телескопа (объектива или главного зеркала), освещенного светом исследуемой звезды. Благодаря жесткой конструкции фотометра получается неподвижное пятно на фотокатоде ФЭУ, что важно ввиду наличия

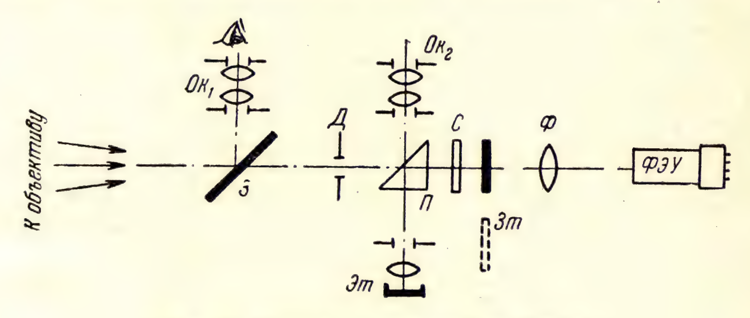


Рис. 131. Оптическая схема электрофотометра.

зонной чувствительности фотокатода. Для фотометрии исследуемого объекта в различных участках спектра используются светофильтры *С*, вводимые поочередно в световой поток, падающий на ФЭУ. Конструктивно блок светофильтров может представлять собой диск, сектор или линейку с набором светофильтров. Говоря о конструкции блока светофильтров и люминофора, необходимо отметить, что широко используемые в фотометрах стеклянные фильтры довольно заметно изменяют свое спектральное пропускание от температуры. Существенно меньшими температурными эффектами обладают фильтры с многослойными диэлектрическими покрытиями. Точно так же и люминофоры с радиоактивным возбуждением изменяют интенсивность свечения в зависимости от температуры, которое может доходить до 0,6% для люминофоров с β-возбуждением. Меньшим температурным эффектом обладают люминофоры из люминесцирующей пластмассы с возбуждением 14° С и эталоны, основанные на свечении Черенкова. Таким образом, для получения высокоточных фотоэлектрических наблюдений необходимо предусмотреть термостатирование той части фотометра, где расположены блок светофильтров и люминофор.

Методика электрофотометрических наблюдений. Электрофотометрические наблюдения дают большую точность в том случае, если имеется возможность вычислить все необходимые поправки, наиболее существенной из которых является точный учет атмосферного поглощения — экстинкции. Поэтому электрофотометрические наблюдения можно проводить лишь в ночи с хорошей прозрачностью, когда не видно слоев облаков, тумана или цирусов. Для стабильной работы аппаратура должна включаться на прогрев примерно за час до наблюдений, при этом на ФЭУ подается полное рабочее напряжение. Для устранения потоков воздуха из павильона, которые могут создавать дополнительное дрожание фокального изображения звезды, рекомендуется не менее, чем за час, открывать купол (откатывать крышу) павильона для выравнивания температуры воздуха снаружи и внутри.

При наблюдении переменной звезды прежде всего необходимо выбрать в ближайших окрестностях две звезды сравнения различного блеска, так, чтобы одна была несколько ярче, другая немного слабее переменной. Более яркая звезда обычно обозначается буквой a, более слабая — b, переменная — буквой v. Чтобы облегчить вычисления и избежать введения цветового коэффициента при вычислении экстинкции, звезды сравнения необходимо подбирать близкие по спектральному классу и к исследуемой звезде. Наблюдения переменной звезды в трех фильтрах (U, B, V) производят по следующей схеме: эталон, темновой ток, звезда a в фильтре V, звезда a в фильтре B, звезда a в фильтре U, фон неба около звезды a в фильтрах V, B и U, переменная v в фильтре V, v в фильтре B, v_U, фон неба около переменной в фильтрах V, B и U, звезда b_V, b_B, b_U, фон V, B, U, переменная v_V, v_B, v_U, фон V, B, U, a_V, a_B, a_U, фон V, B, U, v_V, v_B, v_U, фон V, B, U и т. д. Отсчет переменной в трех фильтрах и фона неба около нее чередуется с поочередными отсчетами звезд сравнения. Через 3—5 измерений переменной звезды измеряется радиоактивный эталон и темновой ток. Во время наблюдений в журнале или на ленте самописца необходимо отмечать название переменной звезды, число, месяц, год, время начала наблюдений, соответствующее первому отсчету звезды, и затем отмечать время на ленте самописца через каждые 10 минут (в случае равномерной протяжки ленты самописца). При пользовании стрелочным регистрирующим прибором или прибором с цифровой индикацией необходимо отмечать время момента наблюдения каждой звезды в каждом фильтре с точностью до 0,1 минуты. Далее в журнале или на ленте записывается поправка часов, параметры аппаратуры: напряжение питания ФЭУ, положение переключателей чувствительности, номер или диаметр используемой диафрагмы, название фильтров при отсчетах звезд и фона и, наконец, состояние неба и фамилии наблюдателей.

Обработка электрофотометрических наблюдений. Исходными данными, получаемыми в процессе наблюдения, являются: отсчеты при наведении на звезду вместе с фоном неба через соответствующие фильтры, отсчеты фона неба через те же фильтры, моменты времени, соответствующие отсчетам звезд. Отсчеты звезд для каждого фильтра измеряются миллиметровой линейкой на ленте самопишущего прибора относительно уровня отсчета фона неба с теми же фильтрами. В случае применения стрелочного прибора или прибора с цифровой индикацией берется разность отсчетов звезды в фильтре на уровне фона неба в том же фильтре. Для удобства дальнейшей обработки результаты наблюдений желательно записывать в следующей форме:

Звезда	$T_д$;	S;	t;	$\cos t$;	$\cos z$;	$M(z)$;	n;	$\lg n$;
Звезда	m';	$\Delta M(z)$;	δm;	Δm;	$\Delta\overline{m}\cdot$ JD;	ψ,		

где $T_д$ — декретное время момента наблюдения звезд, S — местное звездное время наблюдения звезд, t — часовой угол звезд в момент наблюдения, $\cos t$ — значение его косинуса, z — зенитное расстояние звезды в момент наблюдения, $M(z)$ — воздушная масса, соответствующая данному z, n — отсчет звезды в миллиметрах в соответствующем фильтре (по ленте относительно фона) или в делениях шкалы за вычетом фона (в случае стрелочного прибора), m' — значения отсчетов звезды в звездных величинах для соответствующих фильтров в системе инструмента без учета атмосферной экстинкции, $\Delta M(z)$ — разница воздушных масс, проходимых светом от звезды сравнения и переменной, δm — поправка для приведения звезды сравнения на место переменной, Δm — внеатмосферная разность звездных величин звезд сравнения и переменной в системе инструмента, $\Delta\overline{m}$ — усредненное значение этих разностей для соответствующих фильтров, JD — юлианская дата момента наблюдения переменной через соответствующий фильтр с учетом поправки на приведение к центру Солнца, ψ — фаза колебания блеска (для периодических звезд). При обработке наблюдений понадобятся также географические координаты места наблюдения: λ — долгота и φ — широта; экваториальные координаты переменной звезды и звезд сравнения для момента наблюдений (каталожные с учетом прецессии). Прежде всего по обычным формулам сферической астрономии вычисляем зенитные расстояния и по таблицам Бемпорада находим воздушные массы $M(z)$.

Следующий этап обработки — вычисление звездных величин. Сначала находят значения $\lg n$ и умножением на —2,5 находят m', которую необходимо освободить от атмосферного поглощения. Для этого надо найти коэффициент экстинкции для каждого цвета: k_V, k_B, k_U (см. § 5, гл. III). Средний коэффициент

экстинкции может быть определен графически или способом наименьших квадратов. При графическом способе строится график зависимости m' для каждого фильтра от соответствующих значений $M(z)$ для каждой постоянной звезды. По полученным точкам проводится *бугеровская прямая*, тангенс угла наклона которой к оси абсцисс есть коэффициент экстинкции (см. § 5, гл. III)

$$k = \operatorname{tg} \beta = \frac{\delta m'}{\delta M(z)}. \tag{4.10}$$

Пример построения такого графика для желтого фильтра приведен на рис. 132. Экстраполяция бугеровской прямой до значения $M(z)$, равного нулю, дает внеатмосферное значение блеска звезды с данным фильтром в системе инструмента.

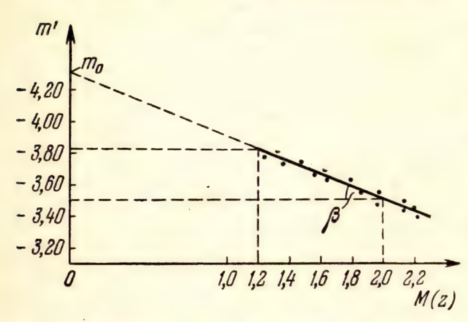


Рис. 132. График для определения коэффициента экстинкции

Этот метод определения коэффициентов экстинкции может быть успешно применен в том случае, если прозрачность атмосферы не зависит от азимута наблюдаемой звезды. Наличие азимутального эффекта легко проявляется при построении графиков зависимости m' от $M(z)$ в явной кривизне бугеровских линий. Такая неравномерность в прозрачности атмосферы обычно вызывается местными топографическими условиями. При наличии азимутального эффекта использование средних коэффициентов экстинкции может привести к существенным ошибкам. В этом случае необходимо провести длительную серию специальных наблюдений для построения подробной кривой зависимости k от азимута для различных z. Для учета поглощения света в атмосфере в этом случае необходимо использовать мгновенные значения коэффициента экстинкции, методика определения которых будет изложена ниже.

Использование среднего коэффициента экстинкции даже при хороших климатических условиях может привести к заметным ошибкам в измерениях блеска звезд. Поэтому при обработке наблюдений желательно пользоваться мгновенными (относящимися к данному моменту времени наблюдения исследуемой звезды) значениями коэффициента экстинкции, требующими, однако, знания точных внеатмосферных звездных величин в системе инструмента. При отсутствии азимутального эффекта нахождение мгновенных значений коэффициента экстинкции можно проводить по методу, предложенному проф. В. Б. Никоновым. Для этого при составлении программы наблюдений вы-

бирается вспомогательная стандартная звезда, близкая по спектральному классу к звездам сравнения, которая наблюдается совместно со звездами сравнения и переменной. Описанной ранее методикой (графически или способом наименьших квадратов) определяются приближенная внеатмосферная звездная величина m'_0 вспомогательной (стандартной) звезды и приближенные значения коэффициентов экстинкции $k'(t)$ для каждого фильтра из уравнений

$$m'_0 + k'(t)\, M(z) = m(z, t). \qquad (4.11)$$

Отсюда следует, что

$$k'(t) = \frac{m(z, t) - m'_0}{M(z)} = \frac{m(z, t) - m_0}{M(z)} + \frac{m_0 - m'_0}{M(z)} = k(t) + \frac{\delta m_0}{M(z)}, \qquad (4.12)$$

где $m(z, t)$ — звездная величина стандартной звезды, не исправленная за атмосферное поглощение, t — момент наблюдения, $k(t)$ — точное значение коэффициента экстинкции, соответствующее моменту времени t, m_0 — точная внеатмосферная величина стандартной звезды в системе инструмента, $\delta m_0 = m_0 - m'_0$ — величина ошибки в определении точного значения внеатмосферной звездной величины стандартной звезды.

Далее, пользуясь полученным приближенным значением коэффициента экстинкции $k'(t)$, можно по формуле вида (4.11) и учитывая (4.12) записать приближенные внеатмосферные значения звездной величины для звезды сравнения a:

$$m'_{0a} = m_a(z_a, t_a) - k'(t_a)\, M(z_a) =$$
$$= m_a(z_a, t_a) - k(t_a)\, M(z_a) - \frac{\delta m_0}{M(z)} M(z_a) =$$
$$= m_a(z_a, t_a) - k(t_a)\, M(z_a) - \eta\, \delta m_0, \qquad (4.13)$$

где $\eta = M(z_a)/M(z)$ — отношение воздушных масс, проходимых светом от звезды сравнения и стандартной звезды, отнесенных к одному моменту наблюдений, т. е. $M(z)$ — воздушная масса, которая относится к стандартной звезде в момент наблюдения звезды сравнения a. Необходимо заметить, что стандартная звезда должна выбираться таким образом, чтобы значение η возможно больше менялось во время наблюдений, т. е. эти звезды должны быть на существенно разных зенитных расстояниях. Из уравнения (4.13), учитывая формулу (4.11), можно получить

$$m_{0a} = m'_{0a} + \eta\, \delta m_0. \qquad (4.14)$$

Имея ряд таких уравнений из всех имеющихся наблюдений звезды сравнения и стандартной звезды, можно способом наименьших квадратов определить внеатмосферную звездную величину звезды сравнения в системе инструмента m_{0a} и ошибку δm_0 в первоначальном определении внеатмосферной звездной величины стандартной звезды.

Определив таким образом значения m_{0a} и m_0, можно по формуле

$$k(t) = \frac{m_a(z, t) - m_{0a}}{M(z)} \tag{4.15}$$

получить мгновенные значения коэффициента экстинкции $k(t)$ для каждого момента наблюдений t.

При использовании радиоактивного эталона для исключения влияния нестабильности работы аппаратуры все измерения блеска звезд могут быть выполнены относительно этого эталона по формуле

$$m(z, t) - m_{эт} = -2{,}5 \lg \frac{n^*(z, t)}{n_{эт}}. \tag{4.16}$$

После вычисления коэффициентов экстинкции приступают к вычислению $\Delta M(z)$ — разности воздушных масс, проходимых светом звезды сравнения и переменной:

$$\left.\begin{aligned} \Delta M(z)_a &= M(z_a) - M(z_v), \\ \Delta M(z)_b &= M(z_b) - M(z_v) \end{aligned}\right\} \tag{4.17}$$

для каждого фильтра. Так как берется разность воздушных масс переменной относительно обеих звезд сравнения, то для каждого значения звездной величины переменной звезды в соответствующем фильтре получается по два значения $\Delta M(z)$ с разными знаками. Зная величины $\Delta M(z)$, k_V, k_B и k_U, определяют поправки δm_V, δm_B, δm_U, которые необходимо ввести в соответствующие отсчеты $m'_ж$, $m'_с$, $m'_ф$ звезд сравнения для приведения их на место переменной:

$$\delta m = k\,\Delta M(z). \tag{4.18}$$

Приведение звезды сравнения на место переменной осуществляется вычитанием полученных поправок δm с их знаком из соответствующих значений m' звезд сравнения. Из полученных значений m_1 звезд сравнения вычитаются значения блеска переменной m' и получается внеатмосферная разность Δm звездных величин звезды сравнения и переменной. Так как мы измеряли блеск переменной звезды относительно двух звезд сравнения, то у нас получились два значения Δm для каждого цвета. Отсчет переменной должен выражаться в конечном счете относительно одной из звезд сравнения, обычно яркой; поэтому отсчет относительно второй звезды необходимо перевести в отсчеты относительно первой. Для этого пользуются следующей схемой вычислений:

$$a - v = (\overline{a - b}) + (b - v). \tag{4.19}$$

Средняя внеатмосферная разность в звездных величинах $(\overline{a - b})$ между звездами a и b в соответствующих фильтрах определяется следующим образом. Находятся все разности между m_{1a} и m_{1b} в соответствующих фильтрах, которые суммируются и де-

лятся на количество разностей. В результате вычислений по формуле (4.19) и ранее полученным значениям Δm относительно звезды сравнения a для каждого момента времени получаются два близких значения Δm. Беря из этих значений среднеарифметическое, получим $\overline{\Delta m}$ — среднюю разность звездных величин звезды сравнения a и переменной.

В заключение этого параграфа хочется еще раз подчеркнуть, что описанная методика обработки электрофотометрических наблюдений является простейшей и пригодна только в случае близости звезд по спектральному классу, так как при вычислении коэффициентов экстинкции не использовались поправки, учитывающие разность цвета звезд. В большинстве случаев удается подобрать звезды сравнения, близкие по спектральному классу к переменной, иногда даже в ее ближайших окрестностях, особенно при фотометрии слабых звезд. В случае, если спектральные классы звезд отличаются друг от друга более чем на 0,5 спектрального класса, необходимо уже учитывать поправку из-за разницы в цветах звезд.

Электроспектрофотометрические наблюдения звезд. Простейший электроспектрофотометр может быть создан на базе электрофотометра следующим образом. Перед объективом телескопа устанавливается призма того же диаметра, которая разлагает в спектр фокальное изображение звезды. В фотометре вместо диафрагмы устанавливается щель, желательно с зеркальными щечками для обеспечения возможности гидирования по спектру, и с помощью редуктора осуществляют медленное равномерное движение телескопа от синхронного мотора по одной из осей, удобнее по склонению. В этом случае призма устанавливается перед объективом таким образом, чтобы ее дисперсия была направлена тоже по δ. Оптическая и блок-схема такого электроспектрофотометра представлена на рис. 133.

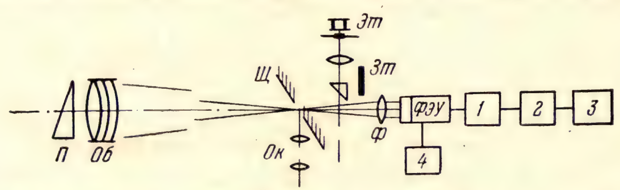


Рис. 133. Блок-схема электроспектрофотометра с объективной призмой. *П* — призма, *Об* — объектив телескопа, *Ок* — окуляр, *Эт* — эталон, *Зт* — затвор, *Ф* — линза Фабри, *Щ* — щель, *1* — предусилитель, *2* — усилитель, *3* — самописец, *4* — питание ФЭУ.

Окуляр *Ок* позволяет гидрировать телескоп по спектру, отраженному от щечек зеркальной диафрагмы. Контроль за ведением телескопа может осуществляться и с помощью гида, но в таком случае он должен быть повернут относительно главной трубы на угол преломления призмы. Существенным недостатком данного электроспектрофотометра в случае использования телескопа-рефрактора является ухудшение разрешения в ультрафиолето-

вой и инфракрасной областях спектра вследствие хроматической аберрации объектива телескопа. Этот недостаток, однако, не исключает возможности использовать прибор для изучения распределения энергии в спектрах звезд и исследования сильных линий и молекулярных полос, так как в процессе обработки наблюдений происходит сравнение монохроматических участков спектров исследуемой и стандартной звезд, а спектр последней в такой же мере искажен хроматической аберрацией. Для электроспектрофотометрического исследования протяженных объектов необходимо уже использовать щелевые спектрометры, где изображение объекта строится телескопом на входной щели. По своей конструкции спектрометр напоминает спектрограф, у которого вместо фотопластинки установлена выходная щель. Смещение (сканирование) спектра по щели может быть осуществлено поворотом призмы или дифракционной решетки. Наиболее удобными являются конструкции спектрометров с вогнутыми дифракционными решетками, которые не требуют дополнительной оптики — коллиматора и камеры, являющейся необходимым элементом в призменных или дифракционных спектрометрах с плоской решеткой. Использование линзовой оптики для коллимации светового пучка и построения спектра на выходной щели может также ухудшить спектр ввиду наличия хроматической аберрации. Пример оптической схемы спектрометра с вогнутой дифракционной решеткой, описанного П. Н. Бойко и А. В. Харитоновым, приведен на рис. 134.

Существенным недостатком фотоэлектрического сканирования спектров является то, что отдельные элементы спектра регистрируются неодновременно, а это при неустойчивой прозрачности может служить источником трудно учитываемых ошибок. Поэтому электроспектрометрические наблюдения должны обязательно проводиться в хорошую устойчивую погоду или должна быть использована компенсация, учитывающая изменение прозрачности атмосферы.

Методика электроспектрофотометрических наблюдений и их обработки. При электроспектрофотометрических наблюдениях звезд распределение энергии в спектре исследуемой звезды сравнивается с распределением энергии в спектре стандартной звезды, что позволяет устранить влияние системы инструмента на истинное распределение энергии в спектре исследуемой звезды и получить это распределение энергии в абсолютных энергетических единицах. Таким образом, методика наблюдения состоит в том, что наряду со сканированием спектров исследуемых звезд необходимо несколько раз в течение ночи регистрировать спектр стандартной звезды на различных зенитных расстояниях. Это позволит затем вычислить монохроматические коэффициенты экстинкции и построить кривую спектральной прозрачности за данную ночь. Обработка электроспектрофотометрических наблюдений сходна с описанной выше

обработкой электрофотометрических наблюдений. Для контроля постоянства чувствительности аппаратуры и определения коэффициентов перехода между различными режимами работы при наблюдении различных по яркости звезд желательно перед каждой записью спектра и после нее записывать отсчет радиоактивного эталона на тех же режимах, что и запись спектра.

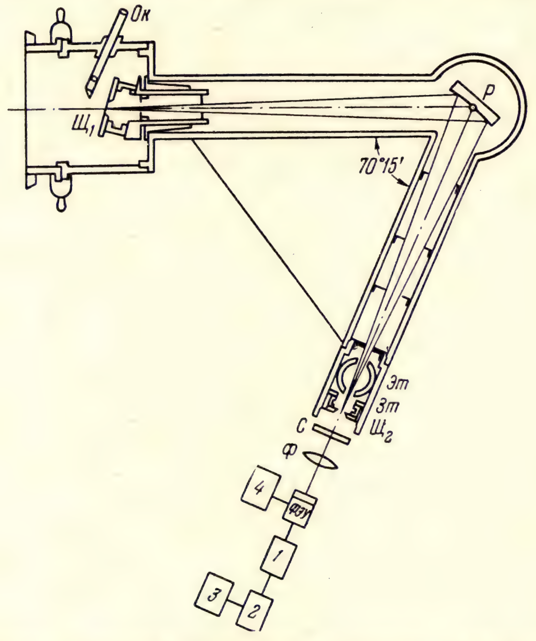


Рис. 134. Спектрометр с вогнутой дифракционной решеткой. $Щ_1$ и $Щ_2$ — соответственно входная и выходная щели, *Р* — решетка, *С* — светофильтры для разделения порядков, *Эт* — эталон, *Зт* — затвор. *Ок* — гидировочный микроскоп, *Ф* — линза Фабри, *1* — предусилитель, *2* — усилитель: *3* — самописец. *4* — питание ФЭУ.

При наблюдениях в качестве стандартных звезд используются звезды с известным распределением энергии в спектре в абсолютных энергетических единицах, такие как α Лиры, β Овна, η Большой Медведицы. В настоящее время имеется уже большое число звезд с известным распределением энергии, которые могут служить стандартами для любой исследуемой звезды.

§ 20. О некоторых спектральных наблюдениях

Любитель астрономии может с успехом выполнять только некоторые спектральные наблюдения, так как спектральные приборы очень сложны и дороги и их, как правило, у любителя нет. Примитивный спектроскоп позволит ему только ознакомиться с видом спектра, что не только желательно, но и необходимо.

Спектроскоп состоит из трех основных частей — коллиматора, призмы (или дифракционной решетки) и зрительной трубы. В передней части коллиматора расположена щель; она находится в переднем главном фокусе объектива коллиматора. Поэтому излучение небесного светила, направленное телескопом в щель спектроскопа, выходит из щели расходящимся пучком и объектив коллиматора превращает его в пучок параллельных лучей. Затем этот пучок попадает на призму (или решетку), которая разлагает его на совокупность параллельных монохроматических пучков, по-разному отклоненных от первоначального направления в зависимости от длины волны. Объектив зрительной трубы образует в своем главном фокусе изображение спектра — упорядоченной совокупности монохроматических изображений щели. В окуляр мы рассматриваем спектр, но можем его и сфотографировать, если в фокусе зрительной трубы установить пластинку.

Чистота спектра зависит от ширины щели. Если сделать щель очень широкой, то ее изображения будут накладываться и спектр будет «размываться». Качество спектроскопа характеризуется *разрешающей силой*, под которой понимают минимальную разность длин волн двух раздельно различимых спектральных линий. Кроме того, важна еще *линейная дисперсия*, характеризующая масштаб спектрограммы; она равна разности длин волн двух спектральных линий, расстояние между которыми на спектрограмме равно 1 *мм*. Линейная дисперсия зависит от длины волны.

Так, например, для призмы с преломляющим углом 60°, изготовленной из флинтгласа, при фокусном расстоянии зрительной трубы, равном 600 *мм*, линейная дисперсия в синей части спектра равна 50 Å на миллиметр (Å/*мм*), а в фиолетовой — 26 Å/*мм*. Линейная дисперсия тем больше, чем больше преломляющий угол призмы и чем больше фокусное расстояние зрительной трубы или заменяющей ее фотографической камеры.

Итак, обычный спектроскоп дает возможность любителю только познакомиться с видом спектра. При этом, приспособив его к телескопу так, чтобы щель находилась в главном фокусе объектива, наблюдатель не сможет увидеть хорошо различимый спектр звезды. Дело в том, что точечное фокальное изображение звезды освещает только небольшой участок щели и в окуляр мы увидим «ниточный» спектр звезды. В нем мы не увидим никаких линий. Спектр надо «растянуть» в перпендикулярном направлении. Без растяжения хорошо будут видны только спектры протяженных объектов — Луны и Солнца.

Для любителя астрономии гораздо доступнее другой спектральный прибор — объективная призма. Так как звезды могут рассматриваться как светящиеся бесконечно удаленные точки, то можно считать, что они посылают параллельные пучки лучей.

Следовательно, для получения их спектров совершенно не нужен коллиматор. Установив перед объективом телескопа призму, мы будем видеть при помощи окуляра «ниточный» спектр звезды. В этом спектре по указанной выше причине мы не увидим спектральных линий. Чтобы увидеть линии, ниточные изображения звездных спектров расширяют, смещая при фотографировании весь инструмент перпендикулярно к направлению дисперсии призмы.

Фотографическая камера, имеющая объективную призму, может оказаться очень полезной для наблюдения метеорных спектров. Метеор, как известно, испускает спектр, состоящий из совокупности ярких эмиссионных линий. Наблюдая спектр метеора с объективной призмой, мы увидим в поле зрения не один метеор, а несколько, т. е. совокупность его монохроматических изображений. Хотя это явление крайне быстротечно, опытный наблюдатель, хорошо знакомый с видом спектра, может отождествить спектральные линии и оценить их интенсивности.

Исследование фотографии спектра метеора. Получение фотографического снимка спектра метеора весьма сложная задача.

Для получения такого снимка перед объективом фотографической камеры устанавливается объективная призма с преломляющим углом 30—45°; установка призмы производится таким образом, чтобы для оптической оси камеры соблюдалось условие угла наименьшего отклонения. Преломляющее ребро призмы ориентируется параллельно суточному движению небесной сферы, т. е. вдоль суточной параллели. Камера во время получения снимка остается неподвижной. Экспозиция длится час и даже более.

Что получится на таком снимке? Если обычно изображение звезды прочерчивает на снимке дугу суточной параллели, то ввиду того, что полоска спектра направлена перпендикулярно к суточной параллели, мы получим на снимке изображения ярких звезд в виде более или менее широкой полосы (ширина зависит от фокусного расстояния объектива и угла преломления призмы). Если объектив не имеет большой остаточной хроматической аберрации, то все изображение будет в фокусе и на фоне темной полосы спектра мы увидим совокупность светлых параллельных дуг. Это изображения темных спектральных линий поглощения. Они тянутся вдоль всего изображения спектра, параллельно его кромке. У звезд спектрального класса A мы легко отождествим серию водородных спектральных линий Бальмера. Это важно сделать, так как в этом случае мы сможем надлежащим образом обработать снимок.

Допустим, что нам посчастливилось и на снимке вышел спектр метеора. В результате нагрева метеорного тела входящие в его состав вещества испаряются и освободившиеся атомы испускают излучение определенных длин волн, так что в спектре

метеора возникают яркие эмиссионные линии. Призма разлагает общий свет метеора в спектр, и на спектральном снимке мы видим совокупность параллельных монохроматических изображений метеора.

Таким образом, на снимке метеорного спектра мы видим ряд параллельных черных линий. Непрерывный спектр, если он и существует, сильно ослаблен, на метеорных снимках его обычно обнаружить не удается.

Получив снимок метеорного спектра, надо определить длины волн обнаруженных линий, а это позволит произвести химический анализ метеорного вещества спектральным путем.

Полная обработка метеорного спектра производится очень сложно по следующим причинам.

Во-первых, траектория метеора обычно составляет некоторый угол с плоскостью главного сечения призмы. В таком случае для излучения метеора призма не находится в положении угла наименьшего отклонения. Теория осложняется.

Во-вторых, фотокамеры обладают дисторсиями, которые при точной обработке надо учитывать. Это также не просто.

В-третьих, для полной обработки спектрального снимка надо иметь снимок того же самого метеора, полученный без призмы. Сравнивая два снимка, можно решить задачу определения длин волн полностью.

Не входя в детали, опишем простейшую задачу, которая состоит в определении длин волн обнаруженных спектральных линий по одному снимку без учета «тонких» эффектов. Часто можно этим ограничиться, так как редко спектр метеора получается столь удачно сфотографированным, чтобы измерения можно было произвести с необходимой точностью. Спектры должны быть измерены. Лучше всего, если такие измерения будут произведены на измерительном приборе, позволяющем определять две прямоугольные координаты с большой точностью. В настоящее время во многих местах, в частности, в заводских лабораториях, распространены измерительные микроскопы. Пластинка (или пленка, зажатая между двумя стеклами) кладется на столик микроскопа. Производится наведение нити микроскопа на нужное изображение и отсчитываются показания микрометренных винтов, перемещающих столик в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Можно измерения производить и при наличии одного микроскоп-микрометра. Он даст нам только одну координату.

На худой случай, надо увеличить снимок спектра в несколько раз фотографическим путем и измерять координаты, накладывая линейку. Конечно, в этом случае измерения будут иметь меньшую точность.

На изображениях спектров звезд нужно измерить расстояния между отождествленными спектральными линиями. Для

этого координатную ось a надо установить вдоль направления дисперсии призмы, т. е. перпендикулярно к суточной параллели. Подобные измерения дадут возможность построить дисперсионную кривую призмы и выразить ее дисперсионной формулой.

Для отождествления лучше всего выбрать такие звезды, которые имеют водородные линии, т. е. звезды спектрального класса А. Чем больше линий мы отождествим, тем более надежный результат получим.

Пример. С. Н. Блажко, изучая спектр метеора, пролетевшего 12 августа 1907 г., смог отождествить в спектрах звезд водородные линии H_β, H_γ, H_δ, H_ε, H_ζ и H_η. Наведение микроскопа на изображения этих линий дали для пяти звезд такие значения координаты x:

Таблица XX

Линия \ № звезды	III	VII	IX	XIII	XIV
H_β	1,2606	1,6142	3,4276	1,3362	0,7710
H_γ	1,0761	1,4278	3,2488	1,1530	0,5818
H_δ	0,9635	1,3166	3,1393	1,0406	0,4686
H_ε	0,8915	1,2456	3,0669	0,9687	0,3956
H_ζ	0,8432	1,1945	3,0231	0,9218	0,3466
H_η	0,8093	1,1656	2,9897	0,8888	—
Среднее	1,0070	1,3597	3,1811	1,0841	0,5127

Мы видим, что отсчеты систематически смещены для каждой звезды, так как звезды занимали на пластинке различные положения. Чтобы сделать данные о различных звездах сравнимыми, мы вычислили средние значения в каждом столбце и вычислили разности по отношению к средним. В табл. XXI указаны эти разности.

Таблица XXI

Линия	III	VII	IX	XIII	XIV	$\bar{x}$	λ, Å
H_β	0,2536	0,2545	0,2465	0,2521	0,2583	0,2530	4861,6
H_γ	0,0691	0,0681	0,0677	0,0689	0,0691	0,0686	4340,5
H_δ	—0,0435	—0,0431	—0,0418	—0,0435	—0,0441	—0,0432	4102,0
H_ε	—0,1155	—0,1141	—0,1142	—0,1154	—0,1171	—0,1153	3970,3
H_ζ	—0,1638	—0,1652	—0,1580	—0,1623	—0,1661	—0,1631	3889,2
H_η	—0,1977	—0,1941	—0,1914	—0,1953	—	—0,1946	3835,5

Мы видим, что они более сходны. Затем взяты средние значения, которые обозначены через $\bar{x}$.

Дальнейшая задача состояла в том, чтобы связать разности $\bar{x}$ с длинами волн спектральных линий. В следующей таблице показано, как это делается.

Таблица XXII

Линия	$\bar{x}$	λ, Å
H_β	0,2530	4861,6
H_γ	0,0686	4340,5
H_η	−0,1946	3835,5

Были выбраны три спектральные линии.

Использовалась дисперсионная формула

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{c}{k - \bar{x}}.$$

Подставляя сюда указанные выше числа, мы получим ее численное решение. Постоянные неизвестные в ней оказались равными

$$\lambda_0 = 1675\text{Å}, \quad k = 1{,}1944, \quad c = 3000{,}2.$$

Полученная формула была проверена по всем наблюдениям. Ход этой проверки можно видеть в табл. XXIII.

Таблица XXIII

$\bar{x}$	$k - \bar{x}$	$c : (k - \bar{x})$	$\lambda_{\text{выч}}$	$\lambda_{\text{задан}}$	$\lambda - \lambda_з = \Delta\lambda_1$	$\Delta\lambda_2$
0,2530	0,9414	3187,0	4862,0	4861,6	−0,4	+0,2
0,0686	1,1258	2664,9	4339,9	4340,5	+0,6	−0,9
−0,0432	1,2376	2424,2	4099,2	4102,0	+2,8	+0,5
−0,1153	1,3097	2290,8	3965,8	3970,3	+4,5	+1,9
−0,1631	1,3575	2210,1	3885,1	3889,2	+4,1	+1,2
−0,1946	1,3890	2160,0	3835,0	3835,5	+0,5	−2,5

Отклонения хотя и малы, но имеют систематический ход. Формула может быть улучшена по способу наименьших квадратов по формуле поправок:

$$\Delta\lambda = \Delta\lambda_0 + \frac{\Delta c}{k - \bar{x}} - \frac{c}{(k - \bar{x})^2}\,\Delta k,$$

где $\Delta\lambda_0$, Δc и Δk — неизвестные, подлежащие определению поправки коэффициентов. При вычислении коэффицентов условных уравнений в них подставляют приближенные значения неизвестных, найденные в первом приближении. Соответствующие вычисления дали такую систему шести условных уравнений:

$$\Delta\lambda_0 + 1{,}06\,\Delta c - 3378\,\Delta k = -\,0{,}4,$$

$$\Delta\lambda_0 + 0{,}89\,\Delta c - 2372\,\Delta k = +\,0{,}6,$$

$$\Delta\lambda_0 + 0{,}81\,\Delta c - 1963\,\Delta k = +\,2{,}8,$$

$$\Delta\lambda_0 + 0{,}76\,\Delta c - 1741\,\Delta k = +\,4{,}5,$$

$$\Delta\lambda_0 + 0{,}74\,\Delta c - 1635\,\Delta k = +\,4{,}1,$$

$$\Delta\lambda_0 + 0{,}72\,\Delta c - 1555\,\Delta k = +\,0{,}5.$$

Затем были вычислены нормальные уравнения:

$$6\,\Delta\lambda_0 + 4{,}98\,\Delta c - 12\,644\,\Delta k = 12{,}1,$$

$$4{,}98\,\Delta\lambda_0 + 4{,}22\,\Delta c - 10934\,\Delta k = +\,9{,}2,$$

$$-\,12\,644\,\Delta\lambda_0 - 10\,934\,\Delta c + 29\,012\,968\,\Delta k = -\,20\,884.$$

Отсюда находятся поправки

$$\Delta\lambda_0 = +\,5{,}18, \quad \Delta c = +\,2{,}16, \quad \Delta k = +\,0{,}00235,$$

и окончательная дисперсионная формула имеет вид

$$\lambda = 1680{,}2 + \frac{3002{,}4}{1{,}1968 - \bar{x}}.$$

Относительно этой формулы вычислены отклонения, приведенные в последнем столбце предыдущей таблицы. Имеется некоторый систематический ход, который лежит в пределах ошибок наблюдений. Его можно объяснить также тем, что использованная формула, являясь интерполяционной, не представляет с достаточной точностью положения спектральных линий. Часто пользуются дисперсионной формулой вида

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{c}{(k - \bar{x})^{\alpha}}.$$

Однако определение ее коэффициентов производится гораздо сложнее. Так как в нашем случае ошибки лежат в пределах точности измерений, нас вполне удовлетворяет полученная формула.

Теперь надо приступить к обработке спектра метеора. Спектр метеора также должен быть измерен. Здесь поступают следующим образом. Если измерения ведутся на машине, позволяющей делать отсчеты по двум взаимно перпендикулярным координатам, то задача решается просто. Измерения ведутся совместно с описанными измерениями координат спектров звезд. В таком случае одна из осей координат уже установлена в направлении дисперсии призмы. Не нарушая этой ее установки, наводят микроскоп на спектр метеора и в нескольких местах производят «разрезы» спектра метеора. Измеряют координаты «ярких», на снимке черных, линий спектра метеора.

Если же имеется микроскоп-микрометр, позволяющий измерять только одну координату, то дело осложняется. Мы вынуждены устанавливать спектр метеора «поперек» направления отсчета. Тогда, измерив расстояния между линиями (координата C), мы должны еще определить и угол φ, который составляет спектр метеора со спектрами звезд. Чтобы получить расстояния линии вдоль дисперсии призмы (координата B), придется применить формулу

$$B = C \sec\varphi,$$

где через B обозначены нужные нам разности координат спектральных линий в направлении дисперсии призмы, а через C — измеренные разности расстояний между ними «поперек» метеора. Так же приходится поступать и при измерении увеличенного снимка линейкой.

Определив координаты x, можно приступать к использованию дисперсионной формулы.

Так как в составе метеорного вещества всегда есть кальций, спектр которого очень интенсивен, то в фиолетовом конце спектра обычно видны две яркие линии H и K ионизованного кальция. Их легко узнать и они дают возможность решить задачу. Близкий «дублет» интенсивных линий всегда резко выделяется на фоне всего спектра. Мы можем принять одну из этих линий за начало координат, вычислить все расстояния от нее и затем с помощью дисперсионной формулы вычислить длины волн остальных линий.

Пример. С. Н. Блажко в результате измерения спектра метеора на двухкоординатной машине, у которой ось B была установлена в направлении дисперсии призмы, получил следующие данные о координатах спектральных линий в различных частях метеора (табл. XXIV):

Таблица XXIV

A / № линии	1	2	3	4	5	Интенсивность
	2,1428	2,1737	2,1967	2,2227	2,2716	
1	—	1,7300	1,7447	—	—	Конец
2	1,8285	—	1,8912	1,9302	—	1—2
3	1,8444	1,8808	1,9108	1,9483	2,0092	—
4	1,8585	—	1,9283	1,9642	—	4
5	1,8935	—	—	—	—	—
6	1,9136	1,9496	1,9732	2,0130	2,0730	1
7	1,9280	1,9654	1,9950	2,0305	—	5
8	1,9665	2,0070	2,0354	2,0680	—	1—2
9	1,9854	2,0258	2,0540	2,0905	—	10
10	2,0332	2,0742	2,1050	2,1366	2,1959	10
11	2,0725	2,1127	2,1415	2,1756	—	2
12	2,1167	2,1570	2,1824	2,2157	2,2790	3
13	2,1364	2,1660	—	—	—	2
14	2,1638	2,1982	—	—	—	2
15	2,1875	2,2252	2,2540	2,2882	2,3470	1
16	2,2010	2,2425	2,2683	2,3044	—	3
17	2,2233	2,2625	2,2916	2,3266	—	2
18	2,2575	2,2922	—	—	—	5
19	2,2900	2,3178	2,3512	—	—	2
20	—	2,3995	2,4146	—	—	1
21	—	2,4090	—	—	—	Конец

Координата A направлена перпендикулярно к дисперсии призмы. В таблице указаны значения координаты B для разных линий, в разных участках траекторий метеора. Пренебрегая влиянием дисторсии, образуем из этих измерений средние данные о спектре метеора. Для этого надо привести все измерения, сделанные при разных значениях A, к одному из них, например, к данным первого столбца. Из приведенной выше таблицы были выбраны данные о пяти общих линиях. Они приведены в табл. XXV.

Из пяти значений, стоящих в каждом столбце этой таблицы, были получены средние значения, которые приведены внизу. Находя разности средних значений, мы получаем постоянные величины, которые должны быть вычтены

Таблица XXV

№	Координата B				
3	1,8444	1,8808	1,9108	1,9483	2,0092
6	1,9186	1,9496	1,9782	2,0130	2,0730
10	2,0332	2,0742	2,1015	2,1366	2,1959
12	2,1167	2,1570	2,1824	2,2157	2,2790
15	2,1875	2,2252	2,2540	2,2882	2,3470
Среднее	2,0191	2,0574	2,0854	2,1204	2,1808

из координат всего столбца, для того чтобы получить приведенные величины. Эти значения таковы:

$$0{,}0000;\quad 0{,}0383;\quad 0{,}0663;\quad 0{,}1013;\quad 0{,}1617.$$

Из приведенных в предыдущей таблице значений были вычтены эти поправки и образована таблица, содержащая «приведенные» координаты спектральных линий для пяти мест метеорного спектра. Из них были получены по строчкам средние значения координаты $\bar{B}$. Но подставлять их в дисперсионную формулу нельзя. Дело в том, что надо еще найти «нуль-пункт» координатной системы $\bar{B}$. Мы видим, что линии 8 и 9, имеющие максимальную интенсивность, в спектре образуют как бы «дублет». Отождествим их с линиями ионизованного кальция H и K. Примем, что линия 9 — это линия K. Известно, что линия K имеет длину волны $\lambda = 3934$ Å.

Теперь, использовав дисперсионную формулу, мы можем сказать, какую координату должна иметь эта линия. Подставляя λ, находим, что

Таблица XXVI

№ линий	1	2	3	4	5	$\bar{B}$	$\bar{x}$	λ
1	—	1,6917	1,6784	—	—	1,6850	−0,4179	3540 Å
2	1,8285	—	1,8249	1,8289	—	1,8274	−0,2755	3720
3	1,8444	1,8425	1,8445	1,8470	1,8475	1,8452	−0,2577	3744
4	1,8585	—	1,8620	1,8629	—	1,8611	−0,2418	3767
5	1,8935	—	—	—	—	1,8935	−0,2094	3815
6	1,9136	1,9113	1,9119	1,9117	1,9113	1,9120	−0,1909	3844
7	1,9280	1,9271	1,9287	1,9292	—	1,9282	−0,1747	3869
8	1,9665	1,9687	1,9691	1,9667	—	1,9678	−0,1351	3934
9	1,9854	1,9875	1,9877	1,9892	—	1,9874	−0,1155	3968
10	2,0332	2,0359	2,0352	2,0353	2,0342	2,0348	−0,0681	4054
11	2,0725	2,0744	2,0752	2,0743	—	2,0741	−0,0288	4130
12	2,1167	2,1187	2,1161	2,1144	2,1173	2,1166	+0,0137	4218
13	2,1364	2,1277	—	—	—	2,1320	+0,0291	4251
14	2,1638	2,1599	—	—	—	2,1618	+0,0589	4319
15	2,1875	2,1869	2,1877	2,1869	2,1853	2,1869	+0,0840	4378
16	2,2010	2,2042	2,2020	2,2031	—	2,2026	+0,0997	4417
17	2,2283	2,2242	2,2253	2,2253	—	2,2245	+0,1216	4473
18	2,2575	2,2539	—	—	—	2,2557	+0,1528	4556
19	2,2900	2,2795	2,2849	—	—	2,2848	+0,1819	4638
20	—	2,3614	2,3483	—	—	2,3548	+0,2519	4858
21	—	2,3707	—	—	—	2,3707	+0,2678	4912

$3934 - 1680 = 3002{,}4 : (1{,}1968 - \bar{x})$. Отсюда $\bar{x} = 0{,}1351$. Вместе с тем в новой, редуцированной таблице она имеет координату $\bar{B} = 1{,}9678$. Чтобы сделать приведение, надо из всех чисел таблицы вычесть величину $1{,}9678 + 0{,}1351 = 2{,}1029$. Таким образом,

$$\bar{x} = \overline{B} - 2{,}1029.$$

Результаты приведены в табл. XXVI. После их подстановки в дисперсионную формулу получены длины волн наблюденных линий. Конечно, описанная процедура имеет приближенный характер, однако для спектров, полученных с малыми объективами, она вполне достаточна.

Таблица XXVII

Лабораторные данные			Длины волн метеорного спектра	Лабораторные данные			Длины волн метеорного спектра
$\lambda_{лаб}$	элемент	интенсивность	$\lambda_{изм}$	$\lambda_{лаб}$	элемент	интенсивность	$\lambda_{изм}$
3719,9 Å	Железо	1000	3720 Å	4307,9 Å	Железо	1000	
3734,9	»	1000		4325,8	»	1000	4319
3737,1	»	1000	3744	4375,9	»	500	
3749,5	»	1000		4383,5	»	1000	4378
3758,2	»	700	3767	4415,1	»	600	4417
3815,8	»	700	3815	4427,3	»	500	
3841,0	»	500	3844	4466,6	»	500	
3859,9	»	1000		4476,0	»	500	4473
3865,5	»	600	3869	4549,7	Кобальт	600	
3933,7	Кальций+	600	3934	4554,0	Барий+	1000	
3968,5	»	500	3968	4555,4	Цезий	2000	4556
4118,8	Кобальт	1000		4629,4	Кобальт	600	
4121,3	»	1000	4130	4663,4	»	700	4638
4226,7	Кальций	500	4218	4840,3	»	700	
4254,4	Хром	5000	4251	4867,9	»	800	4858

После получения длин волн надо приступить к их отождествлению с линиями, известными из исследования лабораторных спектров. Сложность состоит в том, что некоторые химические элементы, особенно железо, имеют очень богатый линиями спектр. В табл. XXVII выписаны длины волн и интенсивности линий некоторых встречающихся в метеорах элементов и одновременно указаны полученные нами длины волн. Из сопоставления можно заметить, что совершенно несомненно присутствие железа, кальция и, может быть, кобальта.

Совпадения не полные, что делает анализ не совсем уверенным.

Глава V

ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ

§ 1. Инструкция для фотографических наблюдений Солнца

Визуальные наблюдения Солнца в телескоп (обязательно через светофильтр!) полезны для приобретения опыта наблюдателя, но не позволяют зафиксировать увиденную картину. Зарисовки пятен и факелов при проектировании Солнца на экран, передающие взаимное расположение и конфигурацию деталей солнечной поверхности, уже имеют документальную ценность и нередко используются в работе астрономов-специалистов. Фотографии Солнца являются прекрасными документами вечно меняющегося лика светила и представляют ценный фактический материал для выполнения исследовательских работ.

Хорошо организованные фотографические наблюдения Солнца потребуют от любителя-одиночки больших затрат сил, времени, средств и оставляют мало времени для исследований. Гораздо легче подобная задача может быть выполнена коллективами народных, школьных и вузовских астрономических обсерваторий.

Фотогелиограф и работа с ним. Для наблюдений Солнца пригодны телескопы любого размера, зеркальные и линзовые.

Получение хороших фотографий в большой степени зависит от мастерства наблюдателя и его знания возможностей инструмента. В принципе хорошие фотографии можно получить с любым телескопом.

В практике работ советской Службы Солнца хорошо зарекомендовали себя фотогелиографы АФР-3, входящие в комплект хромосферно-фотосферного телескопа АФР-2. Партия таких телескопов была выпущена в 1957 г. Ленинградским оптико-механическим объединением (ЛОМО). Фотогелиограф смонтирован на параллактическом штативе АПШ-5, снабженном часовым механизмом. На рис. 135 приводится оптическая схема телескопа.

Главное преимущество этого телескопа — небольшая длина трубы, равная 2,5 *м*, при эквивалентном фокусном расстоянии 9,08 *м*, что достигается применением телеобъектива. Он состоит из положительных линз O_1 диаметром 130 *мм*, и отрицательных

линз O_2 диаметром 36 *мм*. В фокальной плоскости F строится изображение Солнца поперечником 75 *мм*. Фокусировка телескопа достигается перемещением вдоль оптической оси линзы O_2. Установка фокусировки нечувствительна к изменениям температуры в пределах от $-35°$ до $+35°$.

Конечно, в распоряжении любителя астрономии может оказаться телескоп другой системы, рефрактор или рефлектор. Для

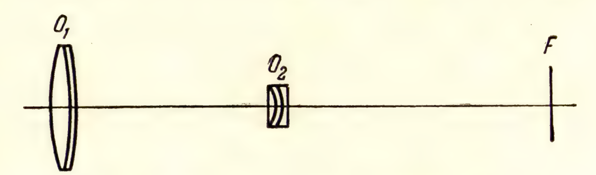


Рис. 135. Оптическая схема телескопа АФР-3.

получения увеличенного изображения (по сравнению с фокальным) в рефракторе следует применить увеличительную систему, а в рефлекторе использовать фокус Кассегрена или Нэсмита.

Разрешающую силу телескопа найдем по формуле

$$\alpha'' = \frac{1}{40}\frac{\lambda}{D},$$

где λ — длина волны света в *ммк*, D — диаметр объектива в *см*. Полагая $\lambda = 400$ *ммк*, $D = 10$ *см*, находим $\alpha'' = 1'',0$. На снимках отчетливо прорабатывается грануляция с поперечником гранул $1''$—$1,''5$ и тонкая структура хромосферы.

Некоторым недостатком объектива является хроматическая аберрация, вследствие которой необходимо применять светофильтры, расположенные перед кассетой. Если использовать несенсибилизированные пластинки, чувствительные к сине-фиолетовым лучам, то применение светофильтров необязательно. В этом случае в результате пересечения кривой спектральной чувствительности и планковской кривой создается достаточно узкая полоса пропускания шириной 30 *ммк*. В случае применения рефлектора хроматическая аберрация не возникает.

Качество снимка существенно зависит от времени экспозиции. При хорошей прозрачности воздуха наиболее выгодные экспозиции составляют 0,008—0,010 *сек*. Фокусировка телескопа для данного сорта фотопластинок и светофильтра выполняется фотографическим путем. В телескопе используется секторный затвор с пружинным заводом. Установку экспозиции по сравнению с нормальной можно увеличить в 10 раз. Затвор располагается за линзой O_2, где световой пучок имеет минимальную ширину. Недостатком вращающихся затворов являются завихрения воздуха в трубе. Поэтому, если делать серию снимков подряд, то первые снимки имеют более высокое качество, чем последующие.

В кассетной части телескопа, в 2—3 *см* перед фокальной плоскостью, располагается прямолинейная суточная нить, изготовленная из тонкой проволоки или капрона. Суточная нить ориентирована параллельно небесному экватору и служит для измерения координат пятен и факелов. Для проведения наблюдений необходимо иметь хронометр или хорошо выверенные часы. Моменты времени снимков записываются с точностью до 1 минуты.

Фотографическая обработка снимков. Качество снимков существенно зависит от выбора фотографических материалов и лабораторной обработки снимков. В настоящее время в системе Службы Солнца используются несенсибилизированные пластинки типа Fu-5 фирмы ORWO (ГДР) размером 9×12 *см*. Максимум кривой спектральной чувствительности располагается вблизи $\lambda = 410$ *ммк*. Эмульсионный слой имеет мелкое зерно, низкую чувствительность (0,5—5,0 ед. ГОСТ) и высокий коэффициент контраста. Тыльная сторона пластинок покрыта противоореольным слоем зеленого или оранжевого цвета, практически полностью устраняющего рассеяние света внутри пластинки.

При отсутствии противоореольного слоя величина рассеянного света внутри пластинки может достигать 5% от падающего потока, что приводит к понижению контраста снимка. Поэтому рекомендуется не пожалеть времени и сил на изготовление такого слоя. Наградой за труды будет более высокое качество фотографий.

Для проявления пластинок рекомендуется высококонтрастный гидрохиноновый проявитель по Фрерку, который является смесью изготовляемых заблаговременно растворов № 1, № 2 и воды:

состав раствора № 1: вода — 1000 $см^3$, сульфит натрия кристаллический — 100 *г*, гидрохинон — 18 *г*;

состав раствора № 2: вода — 1000 $см^3$, углекислый калий (поташ) — 150 *г*.

Проявитель смешивается из двух частей раствора № 1, одной части раствора № 2 и трех частей воды. Кроме того, добавляется небольшое количество 10-процентного раствора бромистого калия.

Проявитель работает при температуре +18—20° С, время проявления 4—5 минут. В объеме 0,3 литра проявителя можно проявить 10 пластинок размером 9×12. Наиболее хорошие фотографии получаются после того как в проявителе обработано 4—5 пластинок. Хорошо работающий проявитель имеет слегка желтоватый цвет.

После закрепления пластинка в течение 2—3 часов промывается для полного вывода из эмульсионного слоя остатков закрепителя. В противном случае пластинка непригодна для длительного хранения.

Определение координат и площадей пятен. В практике Службы Солнца и каталогах солнечной активности применяется кэррингтоновская система координат. Это чисто условная система сферических координат, жестко связанная с экватором Солнца и вращающаяся вместе с ним с видимой (синодической) скоростью вращения, в среднем равной 13°,2 в сутки.

Вследствие наклона оси вращения Солнца к плоскости эклиптики на угол 7°,15 и движения Земли по орбите в течение года непрерывно меняется широта B_0 центра солнечного диска и угол наклона P оси вращения Солнца к направлению центрального меридиана. Величины B_0, P и L_0 — кэррингтоновская долгота центрального меридиана — публикуются в «Астрономическом Ежегоднике» и «Астрономическом Календаре» (переменная часть) в разделе эфемерид для физических наблюдений Солнца.

Для определения координат пятен используют набор ортографических сеток (см. вкладку) для значений $B_0 = 0, \pm 1°, \dots \dots \pm 7°$. С целью более точного измерения координат необходимо иметь набор таких сеток диаметром 25—50 *см*. Точность измерения координат с помощью сеток колеблется в пределах от 0° до 0°,5. Наибольшая ошибка определения широты φ, равная 0°,5, иногда может быть у деталей, расположенных вблизи центра диска. Причиной ошибки в этом случае является несоответствие выбранной координатной сетки истинному значению B_0.

Точность измерения долготы λ уменьшается по направлению к лимбу, вблизи которого она составляет 1—2° (для $r/R \geqslant 0{,}95$). В исследовательских работах координаты пятен, измеренные вблизи лимба, очень часто просто не учитываются. Достаточно высокая точность измерения долгот достигается в пределах центрального круга радиусом $r/R \leqslant 0{,}7$.

При измерении координат пятен и факелов нет смысла добиваться очень высокой точности. Предел точности измерения φ и λ не может превышать разрешающую способность телескопа, равную 1″,0 (см. выше) и точность фиксации центра тяжести пятна или факела, равную 0°,1. Поэтому измерения φ и λ достаточно выполнять с точностью 0°,1 (0°,1 = 1,22 тыс. *км* = = 1″,7). Использование ортографических сеток диаметром 25—50 *см* и соблюдение ряда дополнительных мер позволяет очень быстро измерять координаты пятен φ и λ с точностью до 0°,1.

Техника измерения координат следующая. Изображение фотогелиограммы проектируется на ортографическую сетку, которая ориентируется так, чтобы линия экватора была параллельна суточной нити. Затем сетка поворачивается на угол P. Если он положительный, то северный полюс сетки нужно повернуть к востоку на величину, равную P, а если P — отрицательный, то сетка поворачивается к западу.

Положение детали A (рис. 136) определяется относительно точки B, расположенной на пересечении линий сетки. Координаты точки B: $\varphi_B = +20°,0$, $l_B = +20°,0$ считываются непосредственно. Затем определяются прибавки к координатам:

$$\varphi_A = +\varphi_B + \delta\varphi = +25°,2, \quad l_A = +l_B + \delta l = +26°,2.$$

Для измерения $\delta\varphi$ и δl необходимо пользоваться метрической линейкой, которая располагается параллельно координатным

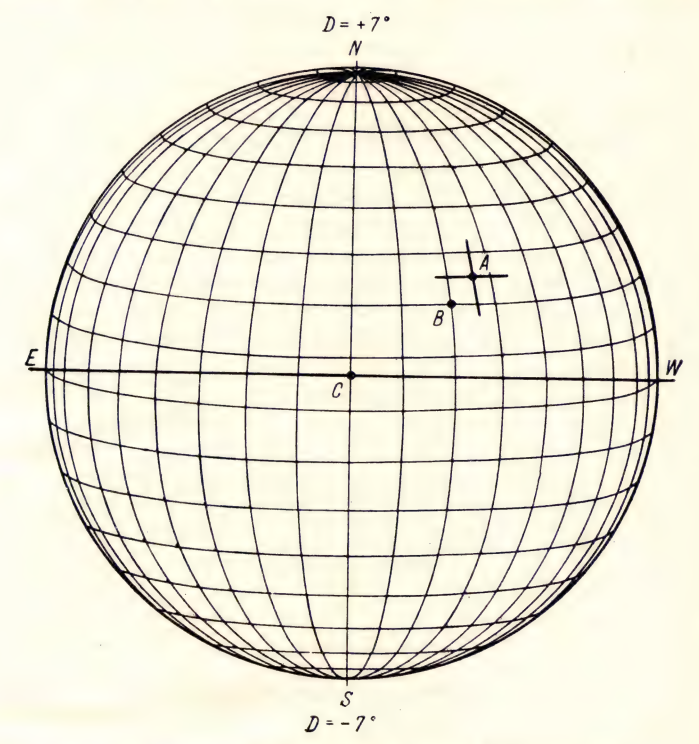


Рис. 136. К определению координат деталей солнечного диска.

линиям. Гелиографическая долгота λ находится по формуле

$$\lambda = L_0 + l,$$

где L_0 — кэррингтоновская долгота центрального меридиана Солнца, рассчитанная для момента получения снимка с помощью Астрономического Ежегодника (календаря). Величина l считается положительной к западу и отрицательной к востоку.

Для определения площадей пятен можно использовать прямоугольные сеточки — палетки, помещаемые в поле зрения измерительных микроскопов. Определение площади сводится к подсчету числа клеточек, занятых пятном. Площадь

наименьшей клеточки должна составлять примерно $5 \cdot 10^{-6}$ площади солнечного диска.

Фотометрические измерения. Фотографии Солнца позволяют измерять относительный контраст деталей и затем рассчитать их температуру. Для организации фотометрических работ в дополнение к телескопу нужно иметь ступенчатый ослабитель и микрофотометр. Девятиступенчатые платиновые ослабители выпускаются Ленинградским оптико-механическим объединением. Ослабитель закрепляется внутри вкладыша, устанавливаемого перед кассетой. Изображение ослабителя впечатывается рядом с изображением Солнца. Для этого сначала делается обычный снимок. Затем в кассетной части устанавливается вкладыш с ослабителем и на той же пластинке при том же времени экспозиции впечатывается изображение ослабителя. Кроме снимка с обычной экспозицией, делается снимок околосолнечного ореола с увеличенной в 10 раз экспозицией. Его также калибруют с помощью ослабителя. Изображение ослабителя используется для построения характеристической кривой [1], служащей для определения относительной интенсивности двух деталей I'/I. При использовании высококонтрастных пластинок точность измерения относительной интенсивности составляет 0,2%.

Измеренная с помощью фотогелиограммы относительная интенсивность I'/I пятна в дальнейшем должна быть исправлена для исключения рассеянного света. Земная атмосфера, с одной стороны, действует как фильтр, ослабляющий солнечный свет, а с другой стороны, — как дополнительный источник излучения. Рассеянный земной атмосферой свет воспринимается как околосолнечный ореол, имеющий свое продолжение на диске Солнца. Согласно Т. В. Крат распределение интенсивности в ореоле описывается формулой

$$\Gamma(\varphi) = A_0 + p_2 e^{-a_2 \varphi^2},$$

где A_0, p_2, a_2 — постоянные величины, φ — угловое удаление от центра солнечного диска. Для определения $\Gamma(\varphi)$ В. Е. Степановым была составлена удобная таблица, входом в которую является удаление r/R от центра диска в долях его радиуса.

r/R	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\Gamma(\varphi)$	2,1	2,1	2,05	1,95	1,85	1,75	1,65	1,50	1,30	1,15	1,0
r/R	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	
$\Gamma(\varphi)$	0,9	0,6	0,5	0,45	0,3	0,3	0,25	0,2	0,2	0,15	

Интенсивность ореола на лимбе принята равной 1,0, интенсивность ореола в центре диска в 2,1 раза больше.

Для учета поправки Δ за околосолнечный ореол сначала с помощью второго (передержанного) снимка измеряют интенсивность ореола на лимбе (в процентах по отношению к интенсивности фотосферы в центре солнечного диска). Затем с помощью таблицы для данного удаления r/R пятна от центра диска находят поправку за ореол Δ.

Наложение рассеянного света ореола на действительное изображение Солнца приводит к понижению контраста. Пусть истинная относительная интенсивность солнечного пятна есть $\lambda = I'/I$, где I' и I — истинные интенсивности пятна и фотосферы соответственно, и пусть Δ — интенсивность ореола в области пятна. Тогда наблюдаемая относительная интенсивность λ_* пятна будет равна

$$\lambda_* = \frac{I'_*}{I_*} = \frac{I' + \Delta}{I + \Delta},$$

откуда находим

$$\lambda = \lambda_* \left(1 + \frac{\Delta}{I}\right) - \frac{\Delta}{I}.$$

Эта формула позволяет исключить рассеянный свет ореола. Величины λ и λ_* тем ближе между собой, чем ближе между собой значения I' и I и чем меньше величина Δ. Фотометрические наблюдения рекомендуется проводить при не слишком плотных ореолах, когда величина Δ не превышает 10% в центре солнечного диска.

Вторым источником рассеянного света являются атмосферные дрожания, также понижающие контраст деталей.

Качество снимка оценивается по шкале, предложенной Н. В. Демидовой и А. Н. Быстровой:

1°. Совершенно четкие волокна полутени пятна.

2°. Четкость волокон слегка ухудшена.

3°. Волокна размыты, но еще различаются. Волокна, входящие в тень, совершенно отчетливы.

3°,5. Видны лишь волокна, входящие в тень.

4°,0. Исчезает зубчатый характер границы тени и полутени.

5°,0. Для небольших пятен уменьшается различие между тенью и полутенью.

Задачи исследований. Фотографии Солнца можно использовать для определения координат деталей, их размеров, формы и относительной интенсивности. Иногда эти данные являются вспомогательным, справочным материалом для выполнения других работ, например, спектральных исследований, а иногда являются исходным материалом для научной работы. Ниже предлагается перечень самых разнообразных исследовательских задач, рекомендуемых для народных обсерваторий.

Большой интерес и важное значение имеет проблема движения вещества на Солнце. Эти движения охватывают довольно широкий диапазон характерных размеров и скоростей. Одна и та же деталь, например, пятно, одновременно может участвовать в нескольких видах движений. Исследователь должен выделить каждый вид движения в чистом виде и изучить его особенности.

К числу глобальных движений относятся меридиональная циркуляция фотосферных и, возможно, подфотосферных слоев, вариации закона вращения Солнца, движения, связанные с 11-летним циклом. Они осуществляются с довольно малыми скоростями, порядка 1 *м/сек*, охватывают все Солнце в целом или отдельно его северное и южное полушария. Для изучения таких движений требуются многолетние наблюдательные данные (десять лет и более). Изучением движений этого вида астрономы занимаются более ста лет. Исследование глобальных движений вещества на Солнце представляет большой интерес для теории внутреннего строения светила и его циклической деятельности. Наибольший интерес представляет изучение особенности меридиональной циркуляции вещества и вращения Солнца на различных широтах, их взаимосвязь, изменение со временем в связи с фазой 11-летних циклов активности, особенности циркуляции вещества в северном и южном полушариях Солнца, распространение меридиональной циркуляции в подфотосферные слои и т. п.

Существование крупномасштабных фотосферных потоков с линейным размером порядка 100 тыс. *км* и скоростью порядка 1° в сутки впервые было обнаружено английским астрономом А. Хартом и советскими учеными В. Е. Степановым и М. А. Клякотко в 50-х годах. Такие потоки составляют систему локальных ветров, на которые распадается его общая циркуляция. К сожалению, мы практически ничего не знаем о системе крупномасштабных потоков и исследования в этой области, безусловно, принесут много новых сведений. Наиболее простым способом обнаружения фотосферных потоков является анализ собственных движений групп пятен по поверхности Солнца. Однако группы пятен, как правило, располагаются в низких широтах, имеют относительно небольшие размеры и довольно быстро изменяются, что затрудняет изучение крупномасштабных потоков. Поэтому желательно разработать какие-то новые способы регистрации этих потоков.

Движение вещества в активных областях постоянно привлекает внимание астрономов-специалистов. Получен ряд интересных результатов об относительном движении пятен в группах, о движении вещества вокруг пятен, о турбулентных и колебательных движениях вещества в активных областях. Тем не менее в этой проблеме еще много нерешенных вопросов. Главной причиной этого является многообразие пу-

тей развития активных процессов. Большой интерес вызывают движения фотосферы в активных областях во время таких нестационарных процессов, как хромосферные вспышки и извержение протуберанцев. Изучение движений фотосферы в активных областях следует выполнять по фотографиям высокого качества при большой частоте их повторения: снимки через 10—15 минут или замедленная киносъемка. Успех дела в большой степени зависит от применения оригинальных методов исследования.

Особую группу составляют задачи, связанные с изучением структуры солнечной поверхности. Наиболее легкодоступные для наблюдений объекты, пятна, изучены уже сравнительно подробно. Большой интерес представляет изучение малоконтрастных образований в фотосфере. Так, еще мало известно о структуре и динамике факелов, лучше всего наблюдаемых около краев солнечного диска. В последние годы внимание ученых привлекают крупномасштабные фотосферные образования: сверхгранула и гигантская гранула.

Сверхгранула была открыта американским ученым Лейтоном в 60-х годах при наблюдении поля лучевых скоростей. Эти образования имеют характерный размер порядка 50 тыс. *км*, существуют по нескольку суток и, вероятно, являются результатом конвективных движений в поверхностном слое атмосферы Солнца толщиной 100 тыс. *км*. Физические особенности этого слоя изучены еще не достаточно подробно. По мнению В. Ф. Чистякова, сверхгрануляционную структуру фотосферы можно изучать с помощью карт изофот, построенных с использованием фотогелиограмм. Сверхгранулы — это динамичные образования без резких границ и их выявление и исследование сопряжено со значительными трудностями.

Реальность гигантских гранул с поперечником, сравнимым с величиной солнечного радиуса, подлежит проверке, которая открывает перед исследователем самые широкие возможности.

Грануляционная структура фотосферы уже многие годы находится в центре внимания ученых. Согласно баллонным наблюдениям М. Шварцшильда средняя продолжительность жизни гранул равна восьми минутам и несколько превышает 5-минутный период пульсаций лучевых скоростей в фотосфере. Наибольшее число гранул имеет поперечник $1''{,}5$. Меньшие и бо́льшие по размерам гранулы встречаются реже. Согласно В. А. Крату односекундная грануляция имеет тенденцию объединяться в группы гранул диаметром порядка 5—10″, между которыми находятся относительно «пустые промежутки». Эта особенность также мало изучена.

В пионерской и единственной работе У. Беккера (1959) сделана попытка проследить на фотогелиограммах основания ряда чисто хромосферных образований, например, водородных волокон. В ней затронут мало исследованный вопрос о закономерностях в расположении фотосферной грануляции.

Фотографии солнечной поверхности можно использовать для построения карт изофот. В работах Брея и Лоухеда (Солнечные пятна, «Мир», 1967), В. Ф. Чистякова (в сборн. «Солнечная активность. Результаты МГГ». М., 1965) карты изофот были использованы для изучения структуры солнечных пятен, движения фотосферы вокруг них и фотометрической взаимосвязи пятен и фотосферы. Установлено, что фотосфера вокруг пятен находится в состоянии вихревого антициклонического движения. Отдельные детали — «яркие элементы» размером 7—9″ имеют период полураспада двое суток. Представляет интерес проследить судьбу таких образований в спокойных участках фотосферы, вдали от активных областей. Главное затруднение здесь — это отсутствие достаточно надежных критериев для отождествления через суточный интервал таких весьма эфемерных образований фотосферы, какими являются яркие элементы.

К категории частных исследовательских задач относятся вопросы, связанные с изучением явления Вильсона в солнечных пятнах, восточно-западной асимметрии пятен, изучение рефракции в атмосфере Солнца, определение коэффициента преломления и т. п. Ряд частных фотометрических задач можно решить при наблюдении частных и полных солнечных затмений. Некоторые из них рассмотрены в книге В. П. Цесевича «Что и как наблюдать на небе».

ЛИТЕРАТУРА

1. Клякотко М. А., Задачи и методика наблюдений Солнца, «Наука», 1971.

2. Витинский Ю. И., Морфология солнечной активности, «Наука», 1966.

§ 2. Инструкция для наблюдений Луны

Наблюдения Луны отличаются от наблюдений планет и многих других светил тем, что их можно вести с очень скромными средствами. Поэтому они рекомендуются начинающему наблюдателю в качестве первого опыта астрономических наблюдений. При наличии достаточно большого телескопа они, несмотря на детальную изученность топографии Луны, могут представить и научный интерес.

На поверхности Луны реальные изменения топографии не наблюдаются. Этим Луна отличается от таких светил, как Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн. Зато ежемесячные периодические изменения в освещении сильно меняют внешний облик различных лунных ландшафтов, что в сочетании с изменениями в расположении Луны по отношению к наблюдателю, являющимися результатом так называемой либрации, приводит к изменению условий наблюдения и изучения каждого лунного объекта, что необходимо учитывать при сравнении своих наблюдений с выполненными ранее.

В то же время изредка на Луне наблюдаются кратковременные явления (events), отражающие ее внутреннюю активность. Примером такого явления может служить наблюдавшееся Н. А. Козыревым 3 ноября 1958 г. извержение газов из центральной горки кратера Альфонс. Для регистрации подобных явлений организована Международная Служба лунных явлений, в которой принимают участие и любители астрономии и о которой будет рассказано ниже.

Наблюдения Луны, выполняемые наблюдателями-любителями, могут быть направлены к решению одной из следующих трех задач:

1. Познавательное изучение лунной поверхности и условий ее освещения, преследующее учебные и научно-просветительские цели.

2. Тренировка наблюдателя в астрономических наблюдениях вообще и в обнаружении и зарисовке мелких тонких деталей в частности.

3. Научные наблюдения. В ходе этих наблюдений получают материал, который в дальнейшем может быть использован для научного исследования.

Общее ознакомление с лунной поверхностью. Наблюдателю Луны следует начать свою работу с изучения основных элементов лунной топографии, так как прежде всего он должен легко ориентироваться на карте видимого полушария Луны.

Изучение лунной топографии лучше всего вести постепенно, концентрически, последовательно переходя от более крупных и заметных деталей к менее существенным. Начать лучше всего с того, что в один из дней полнолуния, рассматривая диск Луны невооруженным глазом, познакомиться с общими контурами главных морей и нанести их в виде эскиза на приготовленный заранее круг. Сделанные зарисовки сравнивают затем с простейшей картой Луны и отмечают на них принятые в селенографии названия морей. Когда общие контуры последних усвоены достаточно прочно, можно перейти к изучению менее крупных деталей, для чего следует воспользоваться 6-кратным биноклем. В бинокль можно различить небольшие моря и озера, заливы и ответвления главных морей, градации яркости в последних, а также менее темные участки, называемые в селенографии «болотами». С помощью бинокля можно также разглядеть и важнейшие кратеры, выделяющиеся в полнолуние в виде черных точек (Гримальди, Риччиоли, Платон, Шиккард) либо в виде светлых пятнышек (Коперник, Кеплер, Аристарх, Тихо, Манилий и др.). В бинокль видны и светлые лучи.

Все эти детали также зарисовывают в форме эскизной схемы и сопоставляют с картой Луны для изучения их названий.

Следующую ступень составляет изучение рельефа, представленного кратерами, цирками, горными хребтами и пиками. Для этого надо воспользоваться телескопом с увеличением не менее

50 и все внимание сосредоточить на зоне, прилегающей к терминатору. В соответствии с перемещением последнего, изучение всего видимого полушария Луны при ежедневном наблюдении занимает две недели (от новолуния до полнолуния), а с учетом изменчивости погоды и необходимости повторных просмотров оно обычно растягивается на несколько месяцев. Параллельно с телескопическими наблюдениями рекомендуется знакомиться с описаниями изучаемых лунных ландшафтов, приводимыми в специальных монографиях. Изучение краевых зон лунного диска занимает еще более длительное время, так как приходится дожидаться совпадения нужного положения терминатора с соответствующей либрацией.

Детальное изучение топографии Луны. Общая топография Луны изучена давно. Изданы многочисленные карты и атласы лунной поверхности, опубликованы каталоги широт и долгот различных точек, а также высоты лунных гор.

За последние годы благодаря использованию автоматических лунных станций и искусственных спутников Луны достигнуты большие успехи и в области детальной топографии лунных образований. Поэтому ценность любительских наблюдений здесь невелика, хотя и не равна нулю.

Астроном-любитель может браться за эту задачу, если он располагает достаточно сильным инструментом, поскольку изучение деталей требует увеличения в 200—300, а еще лучше в 500—600 раз.

Для детального топографического исследований необходимо выбрать небольшой и строго ограниченный район лунной поверхности, например, отдельный кратер, горную вершину, трещину и т. п.*). Выбранный объект необходимо тщательно наблюдать и зарисовать во все те ночи, когда он находится сравнительно близко от терминатора, вследствие чего можно видеть тени неровностей, показывающие структуру рельефа. Для каждого объекта период наблюдений наступает два раза в месяц и продолжается 3—4 дня.

Приступая во время наблюдений к зарисовке, нужно сначала нанести на бумагу общие контуры всего объекта и затем добавить к нему наиболее существенные, легко различимые детали. После того как такой упрощенный рисунок изготовлен и проверен повторным сличением с видимой в поле зрения телескопа картиной, можно приступить к нанесению мелких и мельчайших подробностей: отдельных повышений, понижений, ямок, бугорков, извилин, трещин и т. п. При этом рекомендуется, глядя в окуляр, выжидать моменты успокоения, прояснения изображений и, быстро схватывая появляющуюся в такие моменты тонкую структуру рельефа, наносить ее на рисунок.

---

*) При выборе объекта следует руководствоваться указаниями, содержащимися в астрономической литературе, и рекомендациями ВАГО.

Наблюдения одной и той же выбранной области надо вести длительное время, например, год и больше. Перед наблюдением никогда не надо просматривать прежние зарисовки, так как это создает предвзятость. Просмотр и сопоставление всех рисунков серии делается только после окончания всего ряда наблюдений.

Конечным этапом такой работы является составление детальной эскизной карты. За основу для нее берут либо увеличенную выкопировку из общей карты Луны или, лучше, карту из крупномасштабного атласа. По контурам этой основы условными значками, по возможности совпадающими с принятыми для географических карт (гашюры, штриховка, тушевка), наносят мелкие детали по рисункам. Рисунки надо делать в специальном альбоме.

Из деталей, представляющих интерес и могущих дать материал для научного исследования, упомянем следующее:

1) Отдельные глыбы на поверхности морей. Возможно, что это — выбросы из крупных кратеров. Желательно наносить положения таких глыб на подробную карту Луны и одновременно определять их ориентацию. Собрав сведения о большом количестве таких объектов, можно выяснить их генетическую связь с кратерами.

2) Вершинные кратеры. Так называют небольшие кратеры (жерла), находящиеся на вершинах центральных горок кратеров или отдельных гор. Всего на Луне их известно около 50, но, вероятно, найдены и описаны далеко не все.

3) Вторичные кратеры, образованные падением крупных осколков, выброшенных при формировании главного кратера. Изучать их расположение надо так же, как и в случае отдельных глыб.

Фотографирование Луны. Съемка Луны обычными любительскими фотоаппаратами не представляет интереса, так как дает слишком мелкое изображение. Диаметр изображения лунного диска, выраженный в сантиметрах, получается на снимке примерно равным фокусному расстоянию F объектива, выраженному в метрах. Более точное соотношение имеет вид

$$d = \frac{F}{114}.$$

Следовательно, чтобы получить изображение Луны диаметром хотя бы в 1 *см*, нужен объектив с фокусным расстоянием в 1 *м*. Очень удобен для такой съемки телеобъектив типа МТО-1000, имеющийся в продаже в фотомагазинах и легко соединяемый с фотоаппаратом типа «ФЭД» или «Зенит». Такой же снимок можно получить и в фокусе телескопа с объективом диаметром 60—100 *мм*. Для этого надо приладить на окулярном конце телескопа, из которого удален окуляр, фотографическую камеру, из которой вывинчен объектив, но оставлен на

месте затвор. Фокусировка камеры делается по матовому стеклу путем перемещения окулярного конца трубы. Для съемки выбираются изохроматические или панхроматические пластинки наивысшей чувствительности и фотографирование выполняется через слабый желтый светофильтр. Назначение этого фильтра — задерживать ультрафиолетовые и фиолетовые лучи, к которым объектив визуальной трубы не ахроматизован, а фотографическая пластинка очень чувствительна. Съемка делается моментальная. Чем короче экспозиция, тем лучше, потому что тем меньше сдвиг, вызванный суточным движением Луны.

Для получения более крупного снимка Луны необходимо пользоваться окулярным увеличением. Объектив фотоаппарата удаляется, как и в предыдущем случае, но окуляр телескопа оставляется и фотографическая камера прикрепляется уже к окулярной трубке. Моментальная выдержка в этом случае невозможна, так как увеличенное изображение получается недостаточно ярким. Выдержку, подбираемую опытной съемкой, приходится делать порядка 0,5—5 *сек*, а так как Луна за это время заметно смещается вследствие суточного движения, фотографирование с увеличением можно вести только на телескопе, снабженном часовым механизмом.

Наиболее хорошим вариантом установки для получения снимков Луны является экваториал, снабженный специальной увеличительной камерой. В такой «лунно-солнечной» камере, укрепляемой на окулярном конце телескопа вместо окуляра, увеличение изображения производится специально рассчитанной оптикой.

Разумеется, всякое изображение Луны, полученное на негативе, можно потом печатать с увеличителем, получая позитив еще большего масштаба.

Определение координат лунных объектов. Положения различных деталей на поверхности Луны — горных вершин, кратеров, светлых и темных пятен, окраин морей и т. п. — аналогично точкам земной поверхности выражают двумя координатами, которые в данном случае называются *селенографическими*. *Селенографическая широта* b отсчитывается от лунного экватора, к северу от которого (в сторону Моря Дождей и Моря Ясности) она считается положительной, а к югу (в сторону кратера Тихо) — отрицательной. *Селенографическая долгота* l отсчитывается от начального меридиана, который на лунном диске всегда проходит недалеко от видимого центра последнего (см. § 15, гл. I). К востоку от него (в сторону Моря Кризисов) долготы будут положительными, а к западу (в сторону Океана Бурь) — отрицательными *).

---

*) Направления «восток» и «запад» на Луне до 1961 г. определяли по отношению к земным точкам горизонта; теперь принято употреблять эти понятия в соответствии с явлениями восхода и захода Солнца на самой Луне.

Существует много карт и атласов Луны, по которым можно определить широты и долготы тех или иных точек, пользуясь имеющейся на карте сеткой меридианов и параллелей. Могут встретиться случаи, когда наблюдатель захочет самостоятельно получить координаты какого-либо образования, не нанесенного на карте. Если довольствоваться точностью 1—3°, то для получения селенографических координат можно воспользоваться готовой сеткой, на которой вычерчено расположение меридианов и параллелей (см. приложение VI).

Работа начинается с того, что получают снимок Луны или же делают хороший и точный ее схематический рисунок. Необходимо, чтобы диаметр изображения лунного диска был равен в точности 10 *см* (диаметр сетки), что в случае фотографического снимка достигается соответствующим увеличением при печати негатива. На снимке или рисунке обязательно должно быть нанесено направление суточного движения светил. При фотографировании это осуществляется путем получения следа от звезды при неподвижном часовом механизме. При визуальном наблюдении желательно иметь нить, натянутую в фокусе окуляра и потому резко видимую вместе с Луной в поле зрения. Вращением окулярной трубки нить ориентируется строго по направлению суточного движения, что тоже делается по звезде. Нить зарисовывается вместе с лунным диском и его деталями.

На снимке Луны, или ее схематическом рисунке, из центра диска на прямую, дающую направление суточного движения, опускается перпендикуляр. Это будет изображение круга склонения, проходящего через центр лунного диска. Далее, из Астрономического Календаря ВАГО выписывают для момента наблюдения Луны физические координаты: селенографические долготу λ_0 и широту β_0 центра диска Луны и позиционный угол центрального меридиана P. Угол P при помощи транспортира строится при центре изображения Луны, причем, если он дан со знаком «+», то он откладывается от северного конца круга склонения к западу (против часовой стрелки или в сторону Залива Росы), а если со знаком «—», то к востоку (по часовой стрелке или в сторону Моря Ясности). Полученная на чертеже прямая будет представлять собой центральный меридиан Луны. Далее из 8 сеток выбирается та, которая по значению широты центра диска B_0 ближе всего к выписанному из Календаря значению β_0. Сетка накладывается на изображение Луны так, чтобы ее центральный меридиан совпадал с линией меридиана, начерченного на Луне. После этого координаты деталей отсчитываются прямо по сетке карты.

Долгота l_M отсчитывается от центрального меридиана и ей приписывается знак «+» в западной половине лунного диска (в сторону Моря Кризисов) и знак «—» в восточной половине (в сторону Океана Бурь). После этого долгота l, считаемая от

начального меридиана, получается по формуле

$$l = l_{\text{M}} + \lambda_0.$$

Более точные определения селенографических координат требуют измерения снимков на измерительной машине и последующих вычислений по формулам, которые читатель найдет в специальной литературе.

Определение высоты лунных гор. Высота лунных гор всегда определяется от уровня близлежащей равнины. Для нахождения высоты неровностей, расположенных близ центра диска, существуют два сравнительно простых метода, основанных на наблюдениях, выполняемых в те дни, когда через данную деталь проходит линия терминатора.

1. *Метод длины тени.* Находясь вблизи терминатора, всякая возвышенность отбрасывает в сторону последнего тень, которая тем длинее, чем ближе терминатор. Длина тени d определяется линейной высотой H горы и угловой высотой h Солнца над горизонтом для данной точки поверхности Луны:

$$d = H \operatorname{ctg} h.$$

Для того чтобы воспользоваться этим соотношением, поступают следующим образом. Участок лунной поверхности, содержащий изучаемую возвышенность, ее тень, ряд крупных соседних деталей и прилегающий ко всему этому участок терминатора, тщательно зарисовывается, причем особое внимание обращается на точную передачу относительных размеров. Затем по нанесенным деталям, например по поперечникам кратеров, находят масштаб рисунков (т. е. число километров лунной поверхности, соответствующее одному миллиметру на рисунке). Длина тени d измеряется в миллиметрах, которые потом по масштабу переводятся в километры. Для определения высоты Солнца проще всего нанести участок терминатора на карту Луны и, пользуясь имеющейся на карте сеткой меридианов, найти угловое расстояние горы от линии терминатора в градусах. Легко понять, что оно и будет искомой высотой Солнца. После этого высота горы H, выраженная в километрах, находится по формуле

$$H = d \operatorname{tg} h.$$

Этот способ можно применять только в центральных частях диска, так как ближе к его краю измеренная длина тени будет укорочена перспективой, что требует введения специальных поправок.

2. *Метод появления и исчезновения вершин за линией терминатора.* Отдельные горные вершины и гребни горных хребтов освещаются Солнцем уже тогда, когда окружающая равнина не освещена. Благодаря этому они появляются в виде светлых точек и черточек за линией терминатора на фоне темной части диска Луны. Задача наблюдений состоит в том, чтобы найти

то угловое расстояние γ от линии терминатора, на котором появляется или исчезает вершина. Понятно, что заметить исчезновение легче, чем появление. Наблюдатель должен в соответствующий момент тщательно нанести линию терминатора на лунную карту.

Затем циркулем измеряется расстояние от детали до терминатора, которое при помощи имеющейся на карте сетки выражается в градусах. Это и будет величина γ. Расчет высоты делается по формуле

$$H = \frac{1}{2} R \operatorname{tg}^2 \gamma,$$

где R — радиус Луны, равный 1738 *км.*

Визуальные оценки яркости деталей. Одной из доступных для астронома-любителя задач является определение относительных яркостей различных образований лунной поверхности в условной десятибалльной шкале. Такие оценки можно производить только в дни полнолуния и при сравнительно слабых увеличениях, а именно таких, при которых весь лунный диск, или хотя бы бо́льшая его часть, помещается в поле зрения телескопа. Список объектов лунной поверхности, определяющих баллы шкалы яркостей, приведен на стр. 334. В этой шкале балл 1 соответствует наиболее темным участкам диска полной Луны, к числу которых относится дно цирка Гримальди, некоторые очень темные пятна в Океане Бурь и др. Балл 10 присвоен наиболее яркому объекту на Луне — центральной горке кратера Аристарх.

Приступая к наблюдениям, надо прежде всего тщательно изучить все объекты, перечисленные в таблице, найти их сначала на карте, потом на хороших фотографиях полной Луны и, наконец, на лунном диске в натуре. Полезно помнить наизусть не только расположение и название каждого объекта, но и соответствующий ему балл шкалы.

Само наблюдение состоит в том, что, составив заранее список объектов, для которых будут производиться наблюдения яркости, находят эти объекты сначала на карте, а потом на Луне. Сделать это не всегда просто, потому что многие детали рельефа, как, например, отдельные вершины, мелкие кратеры и т. п., легко отыскиваемые при косом освещении, в полнолуние опознаются с большим трудом. Далее, каждая деталь сравнивается с объектами шкалы, и среди последних ищут те объекты, которые кажутся одинаково яркими с изучаемой деталью. Балл шкалы, соответствующий этим объектам, и будет выражением яркости изучаемого образования. При этом может случиться, что разные объекты приведут к разным значениям балла яркости. Например, одна и та же деталь может показаться наблюдателю одинаковой по яркости с объектами, для которых в таблице указаны баллы 4,5, 5,0 и 5,5. В этом случае нужно выписать все полученные оценки и взять их среднее

арифметическое, т. е. в приведенном выше примере 5,0. Если наблюдатель ставит своей задачей изучение яркости очень маленьких объектов, которые при слабом увеличении не видны, то приходится прибегать к большому увеличению, а это влечет за собой то затруднение, что в поле зрения помещается лишь небольшая часть лунной поверхности, так что все или многие объекты, приведенные в таблице, оказываются вне поля зрения и сравнение с ними становится невозможным. В этом случае в окрестностях изучаемых объектов выбирают ряд крупных образований примерно одинаковой с ними яркости, и для них путем последующего сравнения с объектами шкалы при малом увеличении находят значения балла. Яркость мелких образований получается, таким образом, путем сравнения с этими вспомогательными объектами.

Шкала баллов яркости

Балл яркости	Объекты	
	основные	дополнительные
1,0	Дно Гримальди, Риччиоли	
1,5	Дно Бошковича	Дно Билли, Лемонье, Цупуса
2,0	Дно Юлия Цезаря, Крюгера, Эндимиона	Дно Фурье
2,5	Дно Питата, Мария	Дно Озу, Гиппала, Витрувия
3,0	Дно Тарунция, Плиния, Парро, Флемстида, Теофила и Меркатора	
3,5	Дно Ганзена, Архимеда и Мерсения	
4,0	Дно Птолемея, Манилия, Герике	
4,5	—	Окрестности Аристилла
5,0	Вал Араго, Ландсберга, Буллиальда; окрестности Кеплера	Окрестности Архимеда
5,5	Вал Пикара, Тимохариса; лучи Коперника	
6,0	Вал Макробия, Канта, Бесселя, Мёстинга и Флемстида	
6,5	—	Вал Лангрена, Теэтета и Лагира
7,0	Вал Теона младш., Ареадея, Вихмана и Боде В	Вал Кеплера
7,5	—	Вал Евклида, Укерта и Гортензия
8,0	Вал Година, Коперника и Боде	
8,5	Вал Прокла, Боде А, Гиппарха С	Вал Мерсения С
9,0	—	Вал Мерсения В, Цензорина, Дионисия и Мёстинга А
9,5	Дно Аристарха	
10,0	Центральная горка Аристарха	

Работа будет представлять большую ценность в том случае, если программа наблюдений выбирается целеустремленно. Можно, например, поставить себе задачей составление каталога яркостей валов всех кратеров, включая очень мелкие, или центральных горок кратеров, или их дна.

Моря только с первого взгляда кажутся однородными по своей яркости. Внимательное изучение каждого из них обнаруживает сложный узор из пятен различной яркости. Составление карт таких пятен и определение баллов яркости их также представляет интересную и нужную задачу.

Наблюдения «кратковременных лунных явлений». Ряд неопровержимых свидетельств в пользу реальности кратковременных явлений на Луне, полученных из наблюдений последних лет, заставил американских и английских наблюдателей разработать специальную программу наблюдений с целью регистрации подобных явлений. Большая протяженность нашей страны по долготе делает особенно желательным включением советских любителей астрономии в работу по этой программе.

Для наблюдений надо выбрать несколько «подозрительных» объектов и систематически просматривать их каждый ясный вечер (или ночь) по нескольку раз, сопровождая наблюдения зарисовками. «Явлением» следует считать:

а) изменение цвета или яркости какой-либо лунной области или детали,

б) помутнение очертаний лунных деталей (разумеется, не из-за замутнения земной атмосферы!),

в) появление и исчезновение светлых или темных пятен, ранее не наблюдавшихся.

Приведем перечень деталей, заслуживающих внимания в этом отношении:

Аристарх	Тимохарис
Альфонс	Тихо
Гассенди	
Геродот	Платон
Линней	Шиккард
Пикар	Фра Мауро
Росс D	Мыс Агар (в Море Кризисов)

Прежде чем приступать к наблюдениям по программе «кратковременных явлений», надо тщательно изучить намеченные районы и детали в их «нормальном» виде, при разных фазах Луны, т. е. при различном угле падения солнечных лучей. На такое ознакомление уйдет минимум месяц, а с учетом превратностей погоды и других обстоятельств — 2—3 месяца. Только после этого можно будет приступать к систематическим наблюдениям по намеченной программе.

В случае наблюдения какого-либо кратковременного явления надо сообщить о нем телеграммой в астрономическую

секцию ЦС ВАГО (103009, Москва, К-9, абонементный ящик 918) с указанием часа и минуты наблюдения по московскому времени, характера и длительности явления. Пример текста телеграммы: «Изменение цвета дна Гассенди 4 июля 23 часа 37 минут течение 40 минут потом облака Иванов». Вслед за телеграммой по тому же адресу авиапочтой высылается подробное описание явления с рисунками. Крайне желательно было бы получить серию фотографий области, где наблюдалось явление, с различными светофильтрами (от синего до красного). Для контроля такую же серию надо получить после окончания явления, а также на следующую ночь.

Лунные явления очень редки и не надо обольщать себя надеждой, что их удастся заметить в большом количестве. Особенно важно наблюдать близ эпох перигея и апогея Луны, даты которых указываются в «Астрономическом Календаре».

ЛИТЕРАТУРА

1. Сытинская Н. Н., Луна и ее наблюдения, Гостехиздат, 1956.
2. Шемякин М. М., О закономерности в расположении и размерах кратеров в кратерных цепочках на Луне, Астрон. вестник 3, № 2, 65, 1969.

§ 3. Инструкция для наблюдений лунных затмений

Затмения Луны происходят сравнительно редко, и в то же время каждое затмение по распределению яркости и цвета в земной тени и полутени своеобразно. Решение проблем, связанных с физической стороной явления лунного затмения и, в частности, с влиянием изменений земной атмосферы на яркость и цвет тени, требует обширного и однородного материала. Часто случается, что по характеру географических условий видимости данного затмения или по условиям погоды ни одна из обсерваторий не может его наблюдать. В этих случаях хорошо поставленные любительские наблюдения приобретают большую ценность. Поэтому участие в регулярных наблюдениях лунных затмений наблюдателей-любителей особенно важно.

Программа наблюдений лунных затмений. Программа наблюдения лунного затмения зависит от тех средств, которыми располагает наблюдатель, но во всех случаях его цель состоит в изучении того эффекта, который вызывается земной атмосферой и от которого зависит яркость и цвет участков лунного диска, погруженных в земную тень или полутень.

Подробные сведения о лунных затмениях сообщаются в астрономических календарях — ежегодниках (см. также § 24, гл. I).

В каждый данный момент затмения степень покрытия диска Луны земной тенью выражается *фазой затмения* Ф. Величина фазы определяется расстоянием σ центра Луны от центра тени. В астрономических календарях приводятся величины Ф и σ для разных моментов затмения.

Поскольку явление затмения состоит в ослаблении света Луны вследствие прохождения сквозь земную полутень и тень, основная задача наблюдений затмений состоит в фотометрическом измерении или хотя бы приближенной глазомерной оценке степени этого ослабления. Предметом измерений может быть или блеск лунного диска в целом, или яркость отдельных участков лунной поверхности. В обоих случаях интенсивность света в различные моменты затмения сравнивается с тем значением, которое имеет место перед началом или по окончании полутеневого затмения.

Интенсивность лунного света количественно выражается блеском Луны E или же звездной величиной m (см. § 4, гл. III).

Пусть блеск полной Луны вне затмения равен E_0, а соответствующая ему звездная величина Луны m_0. В некоторый момент затмения блеск Луны снизится до значения $E_з$, а звездная величина Луны соответственно возрастет до некоторого значения $m_з$. Ослабляющий эффект затмения количественно может быть выражен либо в виде коэффициента ослабления

$$k = \frac{E_з}{E_0},$$

либо, что удобнее, в виде разности звездных величин g:

$$g = m_з - m_0 = -2,5 \lg \frac{E_з}{E_0}.$$

Конечной целью интегральной фотометрии света Луны во время затмения является получение зависимости между величинами g и k, с одной стороны, и фазой затмения Φ или σ, — с другой.

Более ценные результаты дает поверхностная фотометрия, позволяющая измерять яркость B различных точек диска Луны вне затмения, а также в условиях тени и полутени. Обозначив яркость и звездную величину участка лунного диска вне полутени через B_0 и M_0, а внутри тени и полутени через $B_з$ и $M_з$, мы получим из наблюдения коэффициент ослабления

$$K = \frac{B_з}{B_0},$$

или величину ослабления G, выраженную в звездных величинах,

$$G = M_з - M_0 = -2,5 \lg \frac{B_з}{B_0}.$$

Поскольку Луну можно рассматривать просто как экран, освещаемый солнечным светом, величина K выражает степень уменьшения солнечной освещенности на поверхности Луны, вызванного наступающим там солнечным затмением. Поэтому, измеряя значения ее для разных точек тени и полутени, мы получаем весьма ценный в научном отношении материал для изучения распределния света в конусах земной тени и полутени.

Очень желательно выбирать для измерения участки по всему лунному диску и каждое измеренное значение K сопровождать двумя координатами: расстоянием σ от центра тени O и позиционным углом P линии, соединяющей точку с центром тени. Однако осуществление таких наблюдений технически далеко не просто. Кроме того, получение указанных координат для произвольно выбранных точек Луны требует довольно длительных и сложных вычислений. Поэтому в качестве программы-минимум можно рекомендовать наблюдения на протяжении всего затмения для точек *Л*, *А* и *Б* лунного диска. Последние две точки всегда легко найти, потому что это будут самая яркая и самая темная точки во время затмения (рис. 137). Правда, эти точки на протяжении затмения перемещаются по окружности лунного диска, так что при вычислении K и G сопоставляются яркости не одних и тех же мест на Луне. Но, поскольку местные различия в альбедо материков невелики, с этим можно примириться.

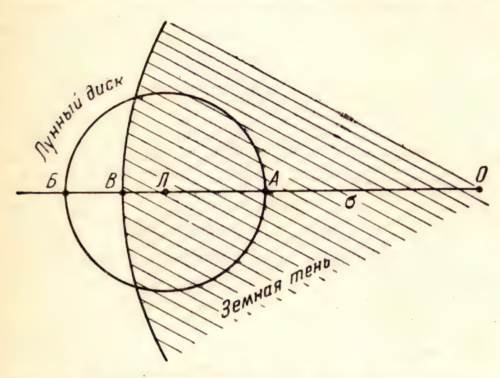


Рис. 137. Положение точек *Л*, *А* и *Б*, рекомендуемых для наблюдения во время лунных затмений.

Визуальные наблюдения лунного затмения. Основное назначение этих наблюдений состоит в том, чтобы дать материал для качественной оценки яркости затененных частей лунного диска по видимости деталей лунной поверхности. Для того чтобы наблюдения давали сравнимые результаты, необходимо, чтобы они велись по единой программе, в стандартных условиях и с одинаковой аппаратурой. Поэтому в качестве нормального инструмента принимается 6-*кратный призматический бинокль*. Наблюдения состоят в периодическом внимательном осмотре лунного диска на протяжении всего затмения, от момента вступления в полутень до момента выхода из полутени. Желательные интервалы между наблюдениями:

во время полутеневого затмения	— 10 минут;
вблизи моментов начала и конца частного затмения для края Луны, контактирующего с краем земной тени	— 2 минуты;
во время частного и полного затмения	— 5 минут.

При каждом осмотре диска отмечается видимость или невидимость всех деталей, перечисленных в списке, прилагаемом к настоящей инструкции (см. стр. 340). Схема расположения этих деталей на лунном диске представлена на рис. 138.

Технически удобнее вести работу вдвоем, причем один из участников ведет наблюдение, а другой — записи. Полезно за-

ранее приготовить для записей таблицу, в которой перечислены все объекты и приготовлены графы для отметок. Помощник наблюдателя зачитывает название объекта по порядку списка, а наблюдатель оценивает его видимость, что и отмечается в графах таблицы какими-либо условными значками. Во время полной фазы затмения, когда яркость погруженного в тень лунного диска мала, наблюдатель должен стараться не смотреть на посторонний свет, предоставляя делать все справки и записи помощнику.

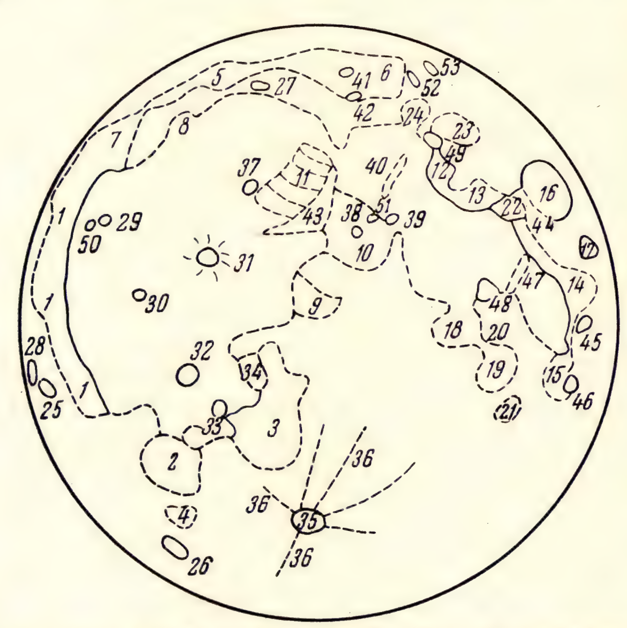


Рис. 138. Расположение деталей на Луне, рекомендуемых для наблюдений видимости (цифры означают номер объекта по списку на стр. 340).

Попутно с оценками видимости отмечается цвет различных частей диска в словесной форме, например: *темный край лунного диска густо-вишневый, центр — грязно-кирпичный, светлый край — желто-оранжевый.* Такие отметки делаются по мере наступления изменений окраски.

Моменты всех наблюдений отмечаются с точностью до 1 мин. по проверенным часам. Описываются условия погоды (безоблачно, в просветах облаков, сквозь перистые облака), а также все прочие обстоятельства, которые, по мнению наблюдателя, могли повлиять на результат.

Наблюдатель должен заблаговременно ознакомиться с предназначенными для наблюдения объектами сначала по фотографии полной Луны, а потом в натуре. Полезно проводить предварительную тренировку, наблюдая пепельный свет Луны. Для

тренировки можно также наблюдать диск полной Луны в бинокль, устанавливая перед объективами последнего светофильтры с разной степенью пропускания.

Список объектов, рекомендуемых для наблюдений видимости во время лунных затмений (рис. 138)

Моря

1. Океан Бурь, восточный край
2. Море Влажности
3. Море Облаков
4. Темное пятно к югу от Моря Влажности
5. Море Холода, восточная ветвь
6. Море Холода, западная ветвь
7. Залив Росы
8. Залив Радуги
9. Залив Срединный
10. Море Паров
11. Болота Гнилое и Туманов, а также темный промежуток между ними
12. Западный край Моря Ясности
13. Западный край Моря Спокойствия
14. Западный край Моря Изобилия
15. Море Изобилия, южная оконечность
16. Море Кризисов
17. Море Волн
18. Море Нектара, северное расширение
19. Море Нектара, южное расширение
20. Море Нектара, перемычка между северной и южной частями
21. Темные пятна к югу от Моря Нектара
22. Болото Сонное
23. Озеро Смерти
24. Озеро Сновидений

Темные кратеры

25. Гримальди
26. Шиккард
27. Платон
28. Риччиоли

Светлые объекты

(кратеры, группы кратеров, горные области)

29. Аристарх
30. Кеплер
31. Коперник
32. Рифлейские горы
33. Буллиальд, Любинецкий, Агатархид
34. Фра Мауро, Бонплан, Парри, Герике
35. Тихо
36. Лучи Тихо
37. Архимед
38. Манилий
39. Плиний
40. Светлая полоса в Море Ясности
41. Аристотель
42. Евдокс
43. Апеннины
44. Сарматия
45. Лангрен
46. Петавий
47. Секки, Тарунций
48. Горный район около Цензорина
49. Посидоний
50. Геродот
51. Менелай
52. Геркулес
53. Атлас

Интересную программу визуальных наблюдений лунных затмений в 6-кратный бинокль предложил профессор В. В. Шаронов. Она состоит в фиксировании моментов времени (с точностью до 1 минуты) появления и исчезновения перечисленных ниже эффектов.

При полутеневом затмении: первые и последние признаки слабого потемнения лунного диска; ясно заметное потемнение; лунный край в районе контакта очень темен.

При частных фазах теневого затмения: появление и исчезновение затемненного края Луны на фоне неба; отчетливая видимость затемненного края; признаки красной окраски земной тени; четкая видимость красноватого цвета земной тени; видимость контуров лунных морей в земной тени; видимость деталей лунных морей в земной тени; разделение земной тени на две зоны — внешнюю (серую, светлую) и среднюю (окрашенную, темную); насыщенная окраска средней зоны земной тени; видимость внутренней темной зоны («ядра») земной тени; хорошая видимость лунных кратеров. При полных фазах затмения: окраска краевых зон лунного диска (зеленая, золотисто-желтая, оранжевая); одинаковый цвет всего лунного диска.

Программу Шаронова полезно выполнять как без светофильтров, так и со светофильтрами голубого, зеленого, желтого, оранжевого и красного цвета, что вполне возможно при коллективных наблюдениях.

Иногда во время затмения на небе около Луны бывает видна земная тень, которую можно заметить в оптические инструменты. Если земная тень вне Луны обнаружена, то следует попытаться измерить ее диаметры (она может быть и не идеально круглой) путем сравнения с диаметром Луны или с угловыми расстояниями между определенными звездами, положение которых можно найти на звездных картах и в звездных каталогах. Необходимо подробно описать вид земной тени вне Луны, неровности ее контура, сжатие и цветовые оттенки.

Если на небе в области земной тени видны звезды, то на протяжении всего затмения полезно провести оценки их блеска, сравнивая его с блеском звезд, расположенных вблизи, но заведомо вне земной тени. При оценках блеска звезд Луна должна находиться вне поля зрения инструмента, чтобы своим светом не искажать оценок.

Весьма эффективны визуальные оценки общей яркости и цвета Луны в затмении. Эти оценки проводятся как невооруженным глазом, так и в 6-кратный бинокль по шкале А. Данжона:

0 — затмение очень темное; в середине затмения Луна почти или совсем не видна;

1 — затмение темное, серое; детали на лунной поверхности совершенно не видны;

2 — затмение темно-красное или рыжеватое; около центра тени наблюдается более темная область;

3 — затмение красное, кирпичного цвета; земная тень окружена сероватой или желтоватой каймой;

4 — затмение медно-красное, очень яркое; внешняя зона светлая, голубоватая.

Шкалу Данжона можно применять только при фазах затмения, превышающих 0,8 и при безоблачном участке неба, в котором находится Луна.

Если в распоряжении наблюдателя имеется телескоп, диаметр объектива которого не менее 10 *см*, то на протяжении всего затмения весьма желательны наблюдения кратеров Геродот, Аристарх, Гримальди, Атлас и Риччиоли, при увеличении не менее 90 крат. Особое внимание следует обратить на возникающее иногда свечение Аристарха, Геродота и Гримальди при их погружении в земную полутень, а также на изменение интенсивности и размеров темных пятен на дне Риччиоли и Атласа. Попутно следует оценивать ширину и цвет каймы земной тени на поверхности Луны.

Фотометрия лунного света способом точечного изображения. Фотометрические наблюдения ведутся только при безоблачном небе или в совершенно ясных просветах между облаками. Наблюдения, выполненные сквозь перистые облака, для фотометрической обработки не годятся.

Оценки и измерения лунного света можно выполнять как визуально, так и фотографически. Наиболее употребительны следующие проверенные на практике методы.

1. *Метод шарика* состоит в сравнении точечного изображения Луны со звездами по способу, применяемому при наблюдениях переменных звезд (см. стр. 285—287, а также Инструкцию для наблюдений переменных звезд, стр. 433). Наблюдения ведутся невооруженным глазом, но для превращения большого лунного диска в звездообразное изображение употребляется маленькое, сильно выпуклое зеркало, например, чистый и гладкий стальной шарик от шарикоподшипника.

Шарик должен находиться от глаза на строго постоянном и достаточно большом расстоянии. Чем больше расстояние шарика от глаза, тем лучше, поскольку разница в фокусировке (аккомодация) глаза на шарик и на звезды становится незаметной. Очень хорошо было бы иметь расстояние порядка 10 *м*, но часто приходится довольствоваться расстоянием до шарика в 3—5 *м*. Полезно использовать не один, а два-три шарика, имеющие различные диаметры и потому дающие блики разного блеска (см. также гл. IV, стр. 288).

При наблюдении с описанным устройством наблюдатель становится к Луне спиной, проектируя шарик на фон созвездия, находящегося на той же высоте над горизонтом, что и Луна, и

сравнивает видимый блеск лунного блика, отражаемого от шарика, с блеском звезд.

2. *Фотографический вариант метода шарика* отличается тем, что вместо глаза ставится обыкновенный любительский фотоаппарат типа «Зоркий», которым шарик с лунным бликом фотографируется вместе с фоном звездного неба. Выдержка должна быть настолько короткой, чтобы смещение звезд из-за суточного движения не было ощутимо.

3. *Метод перевернутой трубы или бинокля.* Вместо шарика можно воспользоваться телескопом, обращенным окуляром к Луне и объективом к глазу наблюдателя. В этом случае глаз видит через трубу сильно уменьшенное мнимое изображение Луны. Его блеск сравнивают с блеском тех ярких звезд, видимых без телескопа, среди которых находится Луна. Меняя окуляры, можно получать разную степень уменьшения видимого размера, а следовательно, и блеска Луны. Необходимо чтобы расстояние объектива от глаза было строго постоянно. При полной фазе затмения Луна из-за слабости ее света в перевернутый телескоп не видна и потому его приходится заменять биноклем. Для свeдéния результатов наблюдений, выполненных биноклем и телескопом, в одну кривую изменения блеска, делаются специальные сравнительные оценки блеска Луны двумя сравниваемыми инструментами.

4. *Метод предельной видимости звезд.* Ослабление лунного света во время затмения может быть определено по предельной видимости звезд Северного Полярного Ряда (область неба вокруг Полярной звезды) и в области зенита. Для этого нужно заранее рассчитать, какие созвездия будут находиться в области зенита во время затмения, и изготовить на кальке копии звездных карт рассчитанной области и Северного Полярного Ряда. При наблюдениях невооруженным глазом на копиях изображаются звезды до 6^m, а при наблюдениях в бинокль до 9^m. Каждая звезда, изображенная на копии карты, нумеруется. В течение всего затмения, через каждые 5—10 минут, отмечаются номера наиболее слабых звезд, видимых на пределе зрения. Такие же оценки предельной видимости звезд необходимо провести до и после затмения. Зная видимую звездную величину отмеченных звезд, легко найти степень ослабления лунного света в различные фазы затмения.

Интегральная фотометрия лунного света по методу безобъективной камеры. Метод безобъективной камеры применяется для сравнения блеска Луны во время полутеневого и частного затмения с блеском ее вне затмения.

Камера изготовляется либо специально, либо путем переделки имеющегося фотографического аппарата таким образом, чтобы на фотографическую пластинку попадал свет от участка небесного свода, занятого Луной и имеющего угловой поперечник от 2 до 5°. Для этого на переднем конце установки должна

помещаться диафрагма, диаметр которой виден из центра пластинки под этим углом в 2—5°. Труба, соединяющая диафрагму с кассетной частью, снабжается внутри рядом диафрагм для устранения отражения от стенок и покрывается черной матовой краской.

Желательно получить много засветок на одной пластинке или на одном куске пленки. Для этого надо сделать кассету, передвигающуюся вдоль отверстия заслонки, или применить кассету с перематываемой пленкой.

Непосредственно перед кассетой устанавливается непрозрачная заслонка с отверстием в центре, диаметр которого не более 1 *см*. Через это отверстие и получается засветка небольшого участка пластинки или пленки лунным светом.

Наблюдение состоит в том, что на протяжении всего затмения в моменты, следующие один за другим через 5—10 мин., получаются засветки лунным светом при строго одинаковой продолжительности выдержки. Последняя подбирается путем пробных съемок лунного света в дни, предшествующие затмению, и должна быть такой, чтобы свет полной Луны вне затмения давал почернение, соответствующее верхнему концу характеристической кривой, но не передержке.

Камера устанавливается на штативе, снабженном устройством, позволяющим удобно наводить ее на Луну в момент экспозиции. Для контроля наводки устраивается прицельное приспособление или (что лучше всего) небольшой телескоп-искатель.

Для съемки применяется одна из трех комбинаций:

1) пластинки (пленки) нормальной спектральной чувствительности без светофильтра;

2) пластинки изохром с желтым фильтром;

3) пластинки панхром с оранжевым фильтром.

Применение ортохроматических, изохроматических и панхроматических эмульсий без светофильтров не рекомендуется, так как оно затрудняет учет атмосферного ослабления.

Каждая пластинка или рулон пленки обязательно должны быть прокалиброваны, т. е. на них печается *фотометрическая шкала*, для чего используются *трубчатый фотометр, ступенчатый ослабитель* или *сенситометрический клин*. Интенсивность источника света, служащего для калибровки, должна быть строго постоянной, поскольку в дальнейшем шкала используется для фотометрической связи пластинок или пленок между собой. Шкала должна быть напечатана на совершенно чистых, т. е. свободных от вуали участках эмульсии.

Для калибровки можно также использовать приспособление, имеющее вид глухого фонарика, закрытого молочным стеклом. Перед этим стеклом по очереди устанавливаются диафрагмы с отверстиями различной площадки, и их свет фотографируется камерой, так же как и Луна во время затмения. Величина освещенности при последовательных засветках будет пропорцио-

нальна площадям соответствующих диафрагм. Для того чтобы последнее действительно имело место, необходимо строгое соблюдение нижеследующих пяти условий:

1) накал лампы, освещающей стекло, должен быть постоянным;

2) стекло должно быть расположено так, чтобы освещенность во всех точках его работающей части была одинаковой;

3) расстояние лампы от стекла должно быть неизменным;

4) расстояние каждой из диафрагм от эмульсионного слоя пластинки или пленки должно быть точно одинаковым;

5) всякий посторонний свет (т. е. идущий мимо диафрагм) должен быть совершенно устранен.

Проявление всего полученного материала проводится строго стандартно, т. е. в свежем проявителе, заготовленном для всей работы одновременно, при постоянной температуре и постоянной продолжительности проявления и не позднее, чем через 24 часа после наблюдений.

Фотографирование Луны с целью фотометрии тени и полутени. Получают серию фотометрических снимков, состоящую из одного или нескольких негативов полной Луны вне полутени (по возможности полученных как до, так и после затмения) и ряда негативов со снимками полутеневого, частного и полного затмений с промежутком через 10 минут. Для съемки используется объектив с фокусным расстоянием не менее 50 *см*.

Все снимки обязательно делаются на пластинках одного сорта и с тем же самым цветным светофильтром (если последний применяется). Рекомендуются три фотометрические системы (т. е. комбинации из фильтра + пластинки), указанные выше.

Калибровка и проявление производятся по правилам, изложенным выше. Если в план наблюдений входит измерение яркости лунного диска, находящегося в тени, то необходимо применять приспособления, ослабляющие свет, со степенью ослабления до 12 звездных величин (серые фильтры, диафрагмы и т. д.), поскольку интервал яркостей лунного диска вне затмения и в тени далеко выходит за пределы широты фотоэмульсии. В этом случае Луна вне затмения и в полутени снимается с ослабляющим приспособлением, а в тени — без него, но оба раза обязательно при одинаковой продолжительности экспозиции. Ослабляющие приспособления подбираются так, чтобы плотность изображений лунного диска вне затмения и в тени лежала на прямолинейном участке характеристической кривой.

Подбор ослабителя, установку шиберов и вообще всю выверку аппаратуры и методику съемки рекомендуется производить по снимкам пепельного света Луны.

Степень ослабления, создаваемая фильтром (или иным приспособлением), должна быть точно известна, для чего необходимо выполнить надлежащую фотометрическую калибровку его.

В качестве фильтра-ослабителя можно применять стекло марок ТН и НС или нейтрально окрашенную желатиновую пленку; фильтр применяется плотностью около двух в сочетании с ослаблением через диафрагмирование в 100 раз.

Обработка негативов состоит в их измерении на микрофотометре и переводе полученных отсчетов в яркости. Это позволяет в дальнейшем получить для некоторой определенной детали лунного диска отношение яркостей (или разности звездных величин) вне затмения и во время различных фаз последнего. Изменение этого отношения в зависимости от расстояния σ от центра тени и позиционного угла P и составляет конечный результат наблюдения.

При отсутствии микрофотометра можно воспользоваться методом сравнения почернений по отпечаткам, описанным в книге «Луна и ее наблюдение» Н. Н. Сытинской.

Учет атмосферного ослабления при фотометрических наблюдениях лунных затмений. Поправка Δm за ослабление света Луны в земной атмосфере вычисляется по общей формуле

$$\Delta m = -aM(z),$$

где $M(z)$ — воздушная масса для зенитного расстояния z, в первом приближении равная $\sec z$; a — ослабление вертикально идущего луча, выраженное в звездных величинах.

Для получения зенитного ослабления a следует воспользоваться методом, описанным в § 5, гл. III, выбирая для этого белые, желтые и красноватые звезды, причем при оценках сравнивается между собой блеск звезд обязательно одинакового цвета.

Обработка наблюдений состоит в построении бугеровского графика, выражающего зависимость яркости или блеска Луны, выраженных в звездных величинах m, от воздушной массы $M(z)$. Обычно точки на графике лежат на прямой линии, угловой коэффициент которой и будет искомым значением a.

Наблюдения моментов покрытий лунных образований земной тенью во время частных и полных лунных затмений. Астрометрические наблюдения лунных затмений состоят в определении моментов покрытий различных лунных деталей земной тенью, а также моментов выхода объектов из тени.

Конечной целью таких наблюдений является определение превышения размеров видимой земной тени над размерами тени, вычисленной геометрически (в предположении, что Земля не обладает атмосферой), а также определение величины сжатия эллипса тени, что позволяет получить некоторые данные о строении верхних слоев земной атмосферы.

Для получения пригодных к дальнейшей обработке результатов необходимо при наблюдениях строго соблюдать следующие условия.

Выбранные для наблюдений объекты должны быть точечными, т. е. при данном увеличении телескопа иметь очень малые видимые угловые размеры. Большие цирки и кратеры с темным дном (Гримальди, Шиккард, Платон) невыгодны для наблюдений. Наиболее удобны для наблюдения моментов покрытий кратеры с хорошо видимой в полнолуние центральной горкой, момент покрытия которой и отмечается, а также светлые точечные образования на Луне (пики, светлые кратеры типа Мёстинг и т. д.).

Выбранные объекты должны быть легко распознаваемы или по виду, или по их взаимному расположению, а также достаточно ярки, чтобы их можно было наблюдать не только вне тени, но и на ее границе. Это позволяет избежать смешения объектов между собой и повышает точность наблюдений.

Желательно, чтобы объект был виден и внутри тени, хотя бы в более светлых краевых ее частях, потому что такой объект можно наблюдать как при вступлении в тень, так и при выходе из нее. Такими объектами являются главным образом светлые кратеры с центральной горкой внутри (Тихо, Коперник, Манилий).

Моментом покрытия объекта считается момент пересечения его центра границей (краем) тени, причем за последнюю следует считать место наиболее быстрого относительного падения яркости по направлению внутрь тени.

Для определения сжатия эллипса тени необходимо, чтобы наблюдения охватывали как можно большую часть дуги эллипса. Поэтому объекты для наблюдений нужно выбрать так, чтобы они располагались равномерно по всему лунному диску. Желательно для этой же цели наблюдать как вступление, так и выход из тени одних и тех же объектов. В силу вышесказанного выбор объектов должен составить основную часть подготовительной работы наблюдателя. Необходимо ознакомиться с объектами, взятыми для наблюдений, за несколько предшествующих затмению полнолуний, точно запомнить их названия, вид и взаимное расположение. При выборе объектов надлежит руководствоваться стандартным списком, данным на стр. 349. Для облегчения поисков и отождествления объектов служит прилагаемая схематическая карта (рис. 139). Пользуясь этой картой и списком, легко найти все указанные объекты на лунном диске в одно из полнолуний, предшествующих затмению.

Для наблюдений пригодны зрительные трубы и телескопы с отверстием 75—100 *мм* и больше; увеличения должны быть не менее 30—40 и не более 100 раз.

Наблюдения удобно вести с помощником, записывающим отмеченные моменты, последние достаточно отмечать с точностью до 1 секунды. Для определения поправки хронометра надлежит воспользоваться сигналами времени, передаваемыми каждый час по радио.

Для облегчения наблюдений и лучшей ориентировки полезно заранее составить список последовательности покрытий наблюдаемых объектов. Для этого графическим способом (см. гл. I, § 24) строится карта затмения. Перечерченный затем на кальку интересующий нас край земной тени (в масштабе лунной карты) накладывается на карту и ориентируется в соответствии с

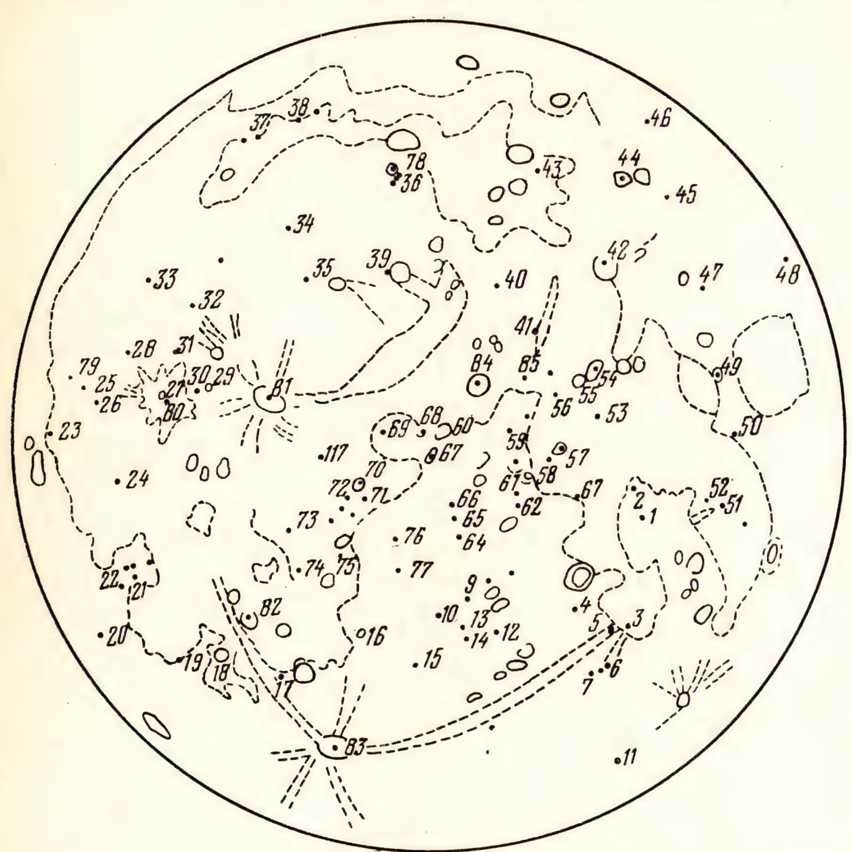


Рис. 139. Схема расположения объектов, рекомендуемых для наблюдений прохождения края земной тени (цифры означают номер объекта по списку на стр. 349).

углом положения лунной оси. Передвигая кальку поступательным движением, мы видим последовательность покрытия или открытия объектов. Данные берутся из Астрономического Ежегодника СССР или Астрономического Календаря ВАГО.

Весьма желательно, чтобы обработка наблюдений, состоящая в получении радиуса земной тени, производилась самим наблюдателем. Пример таких вычислений подробно описан в работе С. В. Макарова и М. А. Свечникова (см. список литературы).

Список объектов, рекомендуемых для наблюдений покрытий земной тенью [1])

Номер объекта	Номер по МАС	Название объекта	Селенографические координаты l	Селенографические координаты b	Примечание
1	28	Капелла D	+34°5′,61	— 4°15′,32	
2	31	Цензорин *	+32 39,95	— 0 23,91	Очень яркий в полнолуние; имеет вид горки с далеко идущими в разные стороны светлыми лучами
3	89	Фракастор E	+34 57,37	—17 52,05	Яркий объект, лежащий на луче, идущем от Тихо
4	15	Бомон A	+26 12,62	—17 3,68	
5	47	Фракастор d	+28 2,12	—23 1,92	Светлое размытое пятно, лежащее на луче, идущем от Тихо через Море Нектара E; в полнолуние наиболее светлый объект на данном участке
6	107	Пикколомини I	+33 47,12	—26 7,06	
7	109	Пикколомини II	+31 56.20	—27 52,74	
8	1	Абульфеда A	+10 47,29	—16 25,08	
9	4	Эри A	+7 40,71	—17 2,11	
10	5	Эри X	+4 29,42	—17 37,55	Небольшой светлый кратер на южном краю Эри
11	44	Фабриций K (Жансен)	+42 14,63	—46 4,17	
12	125	Сакробоско c	+15 51,28	—22 58,75	
13	14	Азофи a (Абенезра a)	+10 5,38	—20 49,45	Обладает неправильной формой
14	111	Плейфер A (Азофи A)	+10 28,44	—22 48,31	Имеет грушеобразную форму
15	150	Вернер	+3 15,47	—27 4,77	Горка на северном краю кратера, в полнолуние наиболее яркое место во всем окружающем районе
16	139	Табит A	—4 53,94	—21 34,41	
17	64	Гезиод A	—17 0,76	—30 5,94	Матовый кратер на юго-восточном краю Гезиода
18	27	Кампан *	—27 43,78	—27 58,16	Центральная горка на темном фоне самого кратера
19	148	Вителло	—37 18,29	—30 19,38	Небольшой светлый кратер внутри большого кратера

[1]) Знаком * отмечены наиболее удобные для наблюдений объекты.

Номер объекта	Номер по МАС	Название объекта	Селенографические координаты		Примечание
			l	*b*	
20	26	Бюрг А	−63° 48′,23	−24° 33′,47	Яркий кратер на западном краю Юрга. Вид его сильно меняется из-за фазы и либрации; иногда он кажется двойным, так как его пересекает темная полоса
21	52	Гассенди А	−43 35,23	−18 25,91	Горка неправильной формы; наиболее яркая точка ее не совпадает с центром тяжести фигуры
22	94	Мерсенн С	−45 55,10	−19 45,67	
23	30	Лорман А	−62 37,11	−0 45,19	
24	45	Флемстид	−44 14,98	−4 29,23	
25	120	Рейнер	−54 54,14	+6 53,62	
26	121	Рейнер А	−51 22,90	+5 7,24	
27	72	Кеплер *	−37 57,72	+8 6,40	
28	90	Марий А	−45 57,65	+12 34,57	
29	98	Милихий *	−30 11,49	+9 59,78	
30	—	Милихий А*	−32 02,10	+9 15,20	
31	16	Виссарион	−37 16,71	+14 48,47	Горка неправильной формы
32	43	Эйлер А	−36 49,56	+20 52,03	
33	13	Аристарх *	−47 32,43	+23 42,23	
34	29	Карлини	−24 2,76	+33 41,28	Кратер, восточная часть которого открыта
35	76	Ламберт F	−18 26,7	+26 27,53	Горка углообразной формы. открытая к востоку
36	106	Пико В	−8 11,52	+43 11,45	Горная цепь с тремя вершинами. Объектом является средняя вершина
37	127	Шарп А	−42 33,24	+47 31,78	
38	24	Буге	−35 40,67	+52 12,09	Объект клинообразной формы с вершиной к востоку
39	11	Архимед А	−6 23,92	+28 1,33	
40	79	Линней	+11 47,08	+27 42,36	
41	17	Бессель	+17 53,77	+21 42,57	
42	116	Посидоний А*	+29 28,75	+31 39,34	
43	41	Евдокс А	+20 4,95	+45 47,09	
44	62	Геркулес D*	+39 7,72	+46 22,28	Эксцентрический кратер в южной половине Геркулеса

Продолжение

Номер объекта	Номер по МАС	Название объекта	Селенографические координаты		Примечание
			l	b	
45	32	Цефей A	+46°30′,37	+41° 1′,72	На западном краю Цефея
46	40	Эндимион G	+55 36,44	+56 22,20	
47	114	Тралль A*	+47 4,09	+27 26,65	
48	126	Сенека A	+69 57,04	+29 41,44	
49	117	Прокл *	+46 57,27	+16 4,78	
50	137	Тарунций A	+43 52,46	+7 16,03	
51	95	Мессье	+47 37,27	−1 52,70	
52	96	Мессье A	+46 55,78	−1 59.85	
53	71	Жансен B	+26 41,21	+10 40,26	Кратер имеет стремянообразную форму и расположен на горной цепи, идущей от Жансена
54	112	Плиний A*	+26 19,83	+13 17,52	Окружен светлым кругом с диаметром 3°
55	113	Плиний *	+23 34,69	+15 18,96	Центральная горка
56	136	Таке A	+20 14,78	+14 19,58	Кольцеобразной формы
57	9	Араго A	+20 0,30	+4 34,57	Светлое «кольцо» с очень темной внутренней частью
58	36	Дионисий *	+17 19,79	+2 46,46	Очень яркий, окруженный лучами кратер белого цвета, иногда кажется окрашенным в голубоватый цвет
59	129	Зильбершлаг	+12 33,29	+6 12,69	
60	69	Гигин	+6 17,49	+7 46,08	Расположен в вершине угла, образуемого двумя большими трещинами, хорошо видимыми даже при не очень больших увеличениях
61	143	Теон старш.	+15 26,04	−0 47,79	
62	142	Теон младш.	+15 50,43	−2 33,52	
63	70	Ипатия B	+24 10,46	−0 34,61	
64	66	Гиппарх C*	+8 14,60	−7 46,04	Три ярких кратера на прямой линии и почти на равных расстояниях друг от друга
65	68	Гиппарх G*	+7 25,94	−5 0,92	
66	67	Гиппарх E*	+7 0,62	−2 52,40	
67	145	Трискнекер *	+3 37,43	+4 10,65	

Номер объекта	Номер по МАС	Название объекта	Селенографические координаты		Примечание
			l	b	
68	147	Укерт *	+1°23′,32	+7°43′,47	Имеет форму треугольника с закругленными углами
69	20	Боде	−2 25,91	+6 43,04	
70	99	Мёстинг	−5 50,10	−0 41,31	
71	100	Мёстинг А*	−5 10,32	−3 11,40	Один из самых ярких объектов лунной поверхности
72	73	Лаланд *	−8 35,28	−4 27,88	
73	105	Перри А*	−15 56,69	−9 30,63	
74	56	Герике В*	−15 14,27	−14 33,76	Хорошо заметен даже на границе тени, так как расположен на острие лежащего севернее большого светлого пятна
75	35	Дэви А	−7 42,85	−12 12,60	Кратер на юго-западном краю Дэви
76	118	Птолемей А	−0 48,10	−8 30,49	
77	8	Альфонс А	−2 41,87	−13 20,84	Маленькая центральная горка. окруженная темными образованиями
78	—	Пико *			
79	—	Рейнер X			Светлое овальное пятно с нерезкими очертаниями к востоку от Рейнера
80	—	Кеплер А			Светлая горка юго-западнее Кеплера
81	—	Коперник			Центральная горка
82	—	Буллиальд			Центральная горка
83	—	Тихо			Центральная горка
84	—	Манилий			Центральная горка
85	—	Менелай			Центральная горка
86	—	Гассенди А′	−39 25,6	−15 08,6	Светлое овальное пятно на северном краю Гассенди

ЛИТЕРАТУРА

1. Козик С. М., Каталог и схематическая карта избранных лунных объектов для полнолуния, Изд-во АН СССР, 1960.
2. Сытинская Н. Н., Луна и ее наблюдение, Гостехиздат, 1956.
3. Линк Ф., Лунные затмения, «Мир».
4. Макаров С. В. и Свечников М. А., Контур земной тени при лунном затмении 26 сентября 1950 г. Уч. зап. ЛГУ, вып. 153, 1953.

§ 4. Инструкция для наблюдений планет

За последние годы изучение планет методами астрофизики и космической техники сделало большие успехи. Однако даже при том развитии, которое получили в планетоведении современные методы, визуальные наблюдения планет отнюдь не потеряли своего значения, и любитель со своими скромными средствами может принести пользу науке, если он будет работать систематически, ясно представляя себе цель, которую должны преследовать его наблюдения.

Наблюдения планет являются для любителя астрономии значительно более трудным делом, чем наблюдения метеоров, переменных звезд и Солнца. При рассматривании деталей на поверхности планет от наблюдателя требуется большая внимательность и терпение, так как небольшие видимые размеры планетных дисков, неспокойствие атмосферы и дрожание инструмента сильно затрудняют работу. Для наблюдений поверхности планет необходима труба с диаметром объектива не менее 3 дюймов (75 *мм*), а серьезные результаты могут быть получены с телескопом от 5 дюймов и больше.

Прежде чем приступить к наблюдениям, нужно твердо усвоить следующие правила, которые должны быть положены в основу работы.

1. Коллективные наблюдения, т. е. наблюдения кружка или группы наблюдателей, имеют гораздо бо́льшую ценность, чем наблюдения одиночек. При этом, разумеется, каждый наблюдатель должен вести работу самостоятельно. Ни в коем случае нельзя советоваться или сравнивать рисунки во время наблюдений.

2. Большое значение имеет систематичность в работе. Отдельные отрывочные наблюдения не представляют почти никакой ценности.

3. При наблюдениях всегда нужно отмечать или рисовать только то, что наблюдатель видит достаточно ясно. Деталей, реальность которых сомнительна, лучше не рисовать. В крайнем случае в примечании надо оговорить сомнительную видимость данной детали. Следует оговаривать также случаи, когда наблюдавшаяся деталь была видна особенно отчетливо. Рисунок должен как можно точнее передавать вид планеты.

4. Обладая небольшим инструментом, не надо браться за непосильные задачи (например, пытаться наблюдать детали на

поверхности Марса в трехдюймовую трубу). Это приведет к тому, что наблюдатель начнет рисовать не то, что он видит, а то, что ему кажется или что он хотел бы увидеть, т. е. к искажению действительности. Не нужно стремиться применять большое увеличение, а лучше выбрать то увеличение, при котором детали видны наиболее ясно.

Прежде чем начать зарисовывать планеты, полезно попрактиковаться в зарисовках с натуры и приучить глаз к рассматриванию планет в трубу. При наблюдении нужно стремиться к тому, чтобы диск планеты находился в центре поля зрения, где изображения наиболее отчетливы.

Зарисовки Венеры и Марса производятся на заранее приготовленных дисках — окружностях диаметром 50 *мм*. Для рисунков Юпитера и Сатурна, имеющих заметную сплюснутость, применяются овальные диски, вычерчиваемые следующим образом (рис. 140): проводится горизонтальная линия длиной в 50 *мм* — она будет изображать экваториальный диаметр планеты. На ней отмечается центр и на расстоянии 2,5 *мм* от центра наносятся четыре точки: выше его, ниже и по бокам. Затем циркулем проводятся четыре дуги: из верхней точки вниз и из нижней точки вверх радиусом в 26 *мм*, из боковых точек — радиусом в 22,5 *мм*. Каждая дуга охватывает 90°, и все они будут служить продолжением одна другой. Разумеется, такое построение не нужно делать для каждого рисунка, а лучше заранее заготовить картонные шаблоны (овальный и круглый) и обводить их карандашом. При этом нужно учесть, что шаблон должен быть меньше нужного размера на 1—1,5 *мм*.

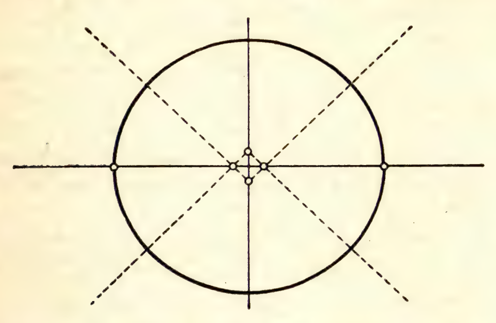


Рис. 140. Овальный шаблон для зарисовки деталей на дисках Юпитера или Сатурна.

Все рисунки нужно делать в специальной тетради или альбоме (отдельном для каждой планеты), на хорошей бумаге, простым мягким карандашом. Над каждым рисунком ставится его порядковый номер. Под рисунком указывается: 1) дата и время наблюдения (по декретному времени); 2) инструмент, диаметр объектива и увеличение; 3) качество изображения; 4) фамилия, имя и отчество наблюдателя; 5) примечания.

Время наблюдения записывается в момент нанесения самой интенсивной детали (см. ниже) с точностью до 1 минуты для Марса, Юпитера и Сатурна и до 5 минут для Венеры. Поправка часов должна быть известна с точностью до 1 минуты. Качество

изображения рекомендуется оценивать по следующей пятибалльной шкале:

1) изображение сильно дрожит, весь диск струится, иногда искажается его форма, он окрашивается в переменные цвета; детали не видны; яркость фона неба меняется; временами изображение совсем расплывается;

2) изображение колеблется; диск заметно струится, но форма его не искажается; окрашивание невелико, яркость фона неба почти не меняется; на диске видны только самые крупные детали; слабые внешние части планеты размыты;

3) изображение почти неподвижно; края диска слегка струятся; видны все основные детали; яркость фона неба не меняется; иногда наблюдаются краткие (1—2 *сек*) успокоения;

4) изображение резкое и неподвижное; края диска четкие; видны мелкие детали и слабые части планеты; часто наступают моменты полного успокоения;

5) изображение все время исключительно резкое; дрожания и помутнения редки (через 5—8 *сек*); самые мелкие детали видны четко, как на рисунке; инструмент выдерживает максимальные для него увеличения.

В примечании нужно указывать, насколько ясно были видны детали, давать описания наиболее интересных из них, отмечать помехи при наблюдениях (дымка, проходящие облака, неспокойствие атмосферы и т. п.).

Венера

Наблюдения фаз Венеры. Наблюдения советских астрономов (в том числе любителей) показали, что наблюдаемая фаза Венеры систематически отклоняется от теоретической. Поэтому представляют интерес систематические зарисовки фаз Венеры, которые можно производить, наблюдая планету в трубу размером от 2 дюймов и выше.

Наблюдения фаз Венеры особенно интересны в следующие эпохи: 1) когда фаза близка к 1, т. е. Венера видна, как почти полный диск; 2) около фазы 0,5, когда терминатор близок к прямой линии; очень важно определить момент, когда он становится совершенно прямым; 3) при малых фазах (менее 0,2), когда Венера имеет вид узкого серпа. Наблюдения в эпохи 1) и 3) затруднены вследствие близости Венеры к Солнцу; поэтому наблюдать ее можно только днем. Найти планету днем легко, если инструмент снабжен разделенными кругами. В противном случае нужно примерно рассчитать ее положение на небе и «ловить» ее в трубу, поставив самое малое увеличение. Около времени наибольшего удаления Венеры от Солнца имеет смысл наблюдать ее фазу как днем, так и в сумерки и ночью, делая зарисовки через каждые 15—20 минут. Такие наблюдения позволят изучить влияние иррадиации.

Зарисовка планеты начинается с нанесения линии терминатора (границы освещенной и неосвещенной частей планеты). Сначала надо стараться правильно передать фазу и удлинение рогов серпа. При плохом изображении этим приходится ограничиваться.

Затем приступаем к осмотру видимого диска планеты, который проводится в следующем порядке:

1. Осматриваем терминатор. На терминаторе могут быть светлые выступы и темные «заливы». Верхняя и нижняя половины его могут быть не симметричны. Особенно часто темные заливы видны на терминаторе около рогов, ввиду чего терминатор почти никогда не имеет полуэллиптической формы.

2. Осматривая рога серпа, прежде всего отмечаем наличие или отсутствие удлинения рогов. Если рога удлинены, то на рисунке их концы отмечаются стрелочками, чтобы можно было оценить угол α, на который удлиняется каждый рог серпа (рис. 141). Нередко один из рогов бывает размыт, в то время как другой виден резко. На терминаторе у рогов некоторые наблюдатели иногда видят довольно резкие зазубрины. При больших фазах наблюдаются также закругления терминатора.

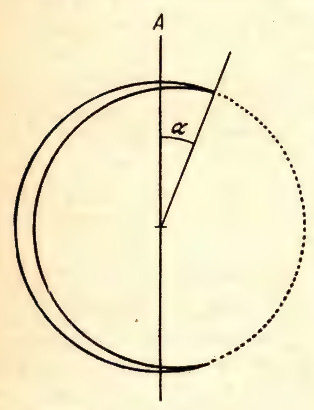


Рис. 141. К определению удлинения рогов серпа.

По величине удлинения рогов серпа после обработки можно определить длину сумеречной дуги в атмосфере Венеры, что представляет интерес для изучения ее строения.

3. Осматриваем лимб планеты. На лимбе могут наблюдаться светлые иррадиирующие выступы.

4. Осматриваем самый диск (серп). Наиболее заметно на диске Венеры потемнение у терминатора, имеющее форму сегмента. При разных фазах этот сегмент изменяет свою ширину. Другой характерной особенностью вида Венеры являются светлые области вдоль лимба. Это по-видимому, следствие контраста.

5. Детали на Венере представляют собой очень размытые и неясные образования, имеющие, вероятно, облачную природу. Темные пятна обычно имеют вытянутую форму, белые — округлую. На рисунке темные области затушевываются, а светлые обводятся пунктиром (рис. 142). Светлые области нередко выдаются за лимб и терминатор. Наблюдения таких выступов представляют особенный интерес, поскольку они создаются, скорее всего, облаками типа наших серебристых облаков (см. § 12), находящимися выше основного облачного слоя Венеры. По этим

наблюдениям можно определить высоту верхних облаков над уровнем нижних.

Для того чтобы впоследствии при обработке можно было отличать реально наблюденные детали от случайных дефектов зарисовки, детали с помощью выносных линий обозначаются буквами и записываются так, как это показано на рис. 142.

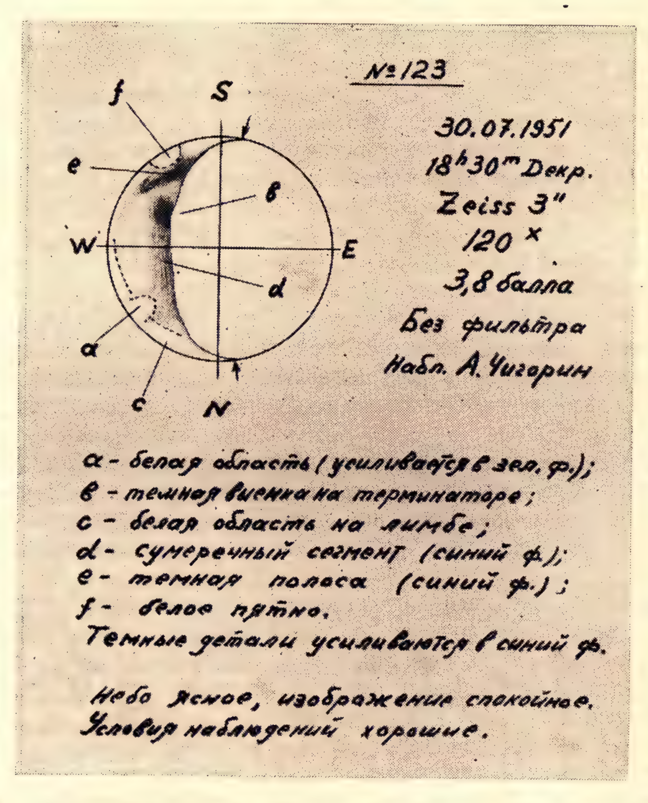


Рис. 142. Пример зарисовки и записи в журнале наблюдений Венеры.

Светофильтры сильно влияют на контрастность деталей на поверхности Венеры. Многочисленными наблюдениями было установлено, что контрастность темных деталей резко увеличивается при наблюдении через синий или голубой светофильтр. Однако синий светофильтр несколько ухудшает общее качество изображения. При плохой прозрачности воздуха для ослабления рассеянного света неба надо применять желтый или оранжевый светофильтр.

В случае вечерних и ночных наблюдений для снижения яркости планеты (создающей неприятное впечатление «блескости»)

приходится ставить нейтральный фильтр или диафрагмировать объектив телескопа. Обычно видимость деталей при этом улучшается, а глаз не так сильно утомляется. Многие наблюдатели указывают, что выгоднее Венеру наблюдать не ночью, а днем или в сумерки.

При наблюдениях со светофильтрами нужно оценивать видимость светлых и темных деталей и форму терминатора при наблюдении с каждым фильтром или производить зарисовки отдельно для каждого фильтра. Такие наблюдения могут дать представление об окраске деталей.

Следует напомнить, что к наблюдению деталей на поверхности Венеры надо подходить с величайшей осторожностью, так как очень часто эти детали настолько слабы и размыты, что возникают сомнения в их реальности.

Марс

Зарисовки поверхности. Небольшой видимый диаметр Марса сильно ограничивает возможность его наблюдения средствами любителей. Для наблюдения поверхности Марса вблизи эпохи противостояния нужна труба не менее 4 дюймов, а хорошо рассмотреть детали на Марсе удается только в телескоп не менее 6 дюймов.

Ближайшие противостояния Марса 1973 и 1975 гг. будут относительно благоприятны для его наблюдений (расстояние его от Земли будет 65 и 84 млн. *км*). Нужно их использовать, конечно, в пределах инструментальных возможностей наблюдателя.

При наблюдениях Марса обычно не рекомендуется изучать опубликованные карты и рисунки Марса, чтобы быть совершенно свободным от подгонки наблюдавшейся картины деталей к какой-либо карте планеты, что часто бывает у начинающих наблюдателей.

Тем не менее для некоторых наблюдений (например, прохождения деталей через центральный меридиан, оценки их интенсивности и сезонных изменений) знание названий основных деталей Марса необходимо. Поэтому лучше всего, если наблюдатель при изучении схематической карты Марса будет обращать внимание лишь на общее расположение деталей, но не на их форму и подробные очертания. Нужно помнить, что видимые очертания деталей подвержены значительным изменениям год от года и даже за несколько недель или дней. Причиной этого могут быть сезонные изменения, происходящие ежегодно, изменения очертаний «морей», связанные с какими-то медленными процессами, происходящими на Марсе, и, наконец, быстрые видимые изменения в результате прохождения пылевых облаков и изменения прозрачности атмосферы Марса. Кроме того, видимость деталей Марса сильно зависит от их положения на диске

и состояния земной атмосферы. Все эти факторы имеют переменный характер.

Наиболее заметными деталями на Марсе являются *полярные шапки*. В зависимости от наклона оси Марса и марсианского времени года на нем бывает видна то северная, то южная шапка, то обе сразу. Интересно следить за изменениями их размеров и очертаний, отмечая каждый раз их границы. Особенно интересны эти наблюдения около эпохи исчезновения или значительного уменьшения размеров шапки, когда ее очертания быстро меняются: она разделяется на части, иногда обрамляется темной каемкой и т. д.

Следующими по различимости деталями являются *«моря»* Марса. Наиболее темные из них хорошо видны на фоне *«материков»* (светлых областей). Хуже видны небольшие темные пятна (*«оазисы»*), которые можно заметить далеко не всегда. Что касается *«каналов»* Марса, то опытные наблюдатели с хорошими телескопами при прекрасных условиях видимости обычно не отмечают их. Наоборот, у неопытных наблюдателей часто проявляется стремление соединить темные пятна прямыми линиями или нарисовать «каналы», запомнившиеся при изучении карты. Впрочем, иногда «каналы» бывают видны вполне отчетливо и даже выходят на фотографиях.

Приступая к зарисовке Марса, нужно помнить, что вследствие довольно быстрого вращения планеты вокруг оси, расположение деталей за время зарисовки может несколько измениться, поэтому процесс зарисовки не должен занимать больше 20—25 минут.

Сначала нужно по значению фазы, взятому из Астрономического Календаря, нанести положение терминатора. До противостояния терминатор расположен слева (при наблюдении в астрономический окуляр), после противостояния — справа. Около эпохи противостояния фаза близка к 1 и Марс выглядит полным диском.

Затем нужно нанести полярную шапку и общие контуры основных деталей. При этом надо сравнивать протяженность деталей и расстояния между ними с диаметром или радиусом планеты, иначе может получиться систематическое смещение всех деталей к северу или к югу.

После нанесения контуров основных деталей производим растушевку, стремясь передать соотношение интенсивностей деталей. Яркие светлые пятна обводятся пунктиром. Мелкие детали наносятся уже по отношению к более крупным, но не к краям диска, так как иначе их расположение будет искажено вращением планеты.

Общие наблюдения и зарисовки деталей поверхности планеты (темных и светлых пятен и др.) полезно производить, применяя легкий оранжевый или красный светофильтр, повышающий контрастность деталей и устраняющий вторичный спектр.

Определение положения деталей. По рисункам Марса можно составить карту планеты при условии, что наблюдения охватывают не менее 30—40 дней. Дело в том, что из-за различия периода вращения Марса и солнечных суток на 37 минут каждую следующую ночь мы видим в тот же час на Марсе области с долготой на 9° меньше. Через 40 суток на центральном меридиане окажутся поэтому те же детали, что и в начале наблюдений. За это время перед наблюдателем пройдут все долготы Марса.

Однако недостатком этого метода является то обстоятельство, что при определении долгот деталей, отстоящих далеко от центрального меридиана, ошибка нанесения детали приводит к все возрастающей ошибке в определении ее долготы.

Поэтому для точного определения долгот и широт деталей и составления карты планеты можно рекомендовать другой способ, предложенный М. Бейером. Он заключается в том, что наблюдатель оценивает видимое расстояние детали от центрального меридиана (для определения долготы) и от экватора (для определения широты). Расстояние оценивается в долях видимого радиуса планеты. Для того чтобы этот метод давал хорошие результаты, нужно оценивать расстояние деталей, отстоящих не более чем на 0,5 видимого радиуса планеты от центрального меридиана. Точность оценки у опытных наблюдателей может доходить до 0,02—0,03 радиуса, у неопытных в начале наблюдений — 0,1, а после некоторой практики — 0,05 радиуса. При этом время наблюдения должно отмечаться с точностью до 1 минуты. Чтобы влияние фазы не сказывалось на величине видимого радиуса Марса, наблюдения по методу Бейера следует начинать не ранее чем за 10 дней до противостояния и заканчивать не позже чем через 10 дней после него. Такие наблюдения дают возможность определять долготы деталей с точностью до $\pm 1°$, а по наблюдениям за разные годы — судить об изменении координат деталей и даже выводить средний период вращения планеты (при наличии многолетних наблюдений).

Интенсивность и цвет деталей. Имея в своем распоряжении 5—6-дюймовый апохромат или 6—8-дюймовый рефлектор, можно вести наблюдения за изменениями окраски темных пятен («морей») Марса, связанными, как известно, со сменой времен года на планете.

Однако гораздо более полезны будут наблюдения интенсивности деталей Марса со светофильтрами. Рекомендуется применять по крайней мере четыре светофильтра: красный, желтый, зеленый и синий. Зарисовки поверхности Марса надо производить с каждым светофильтром отдельно, отмечая интенсивность деталей в условной десятибалльной шкале, рекомендованной французским астрономом Вокулером.

В этой шкале темный фон ночного неба принимается за 10, а яркость полярной шапки в период марсианской весны — за 0. Но так как наблюдателю трудно запомнить яркость шапки весной на весь период наблюдений, можно принять в качестве второй основной точки шкалы среднюю яркость материков близ центра диска, равную 2. Таким образом, значение баллов этой шкалы будет примерно таково:

—1 — наиболее яркие участки полярной шапки;

0 — средняя яркость полярной шапки;

1 — светлые пятна, выделяющиеся своей яркостью на общем фоне материков;

2 — материки близ центра диска;

3 — наиболее слабые темные пятна: «моря», «озера» (например, Hesperia, Lacus, Niliacus);

4 — средние по интенсивности «моря» (например, Mare Chronium, Mare Erythraeum);

5 — более темные «моря» (Mare Cimmerium, Syrtis Major);

6 — особенно темные «моря» и отдельные участки в них (Mare Sirenum, залив Sinus Gomer на северной оконечности Mare Cimmerium);

7 — наиболее темные участки «морей» (главным образом в период весеннего таяния полярной шапки);

8, 9 — детали такой интенсивности на Марсе не встречаются,

10 — фон ночного неба.

Необходимо, однако, иметь в виду, что интенсивность «морей», перечисленных выше, изменяется в довольно широких пределах. Поэтому интенсивность темных и светлых деталей надо сравнивать с интенсивностью материков близ центра диска, разделив мысленно интервал между ней и фоном неба на восемь частей.

Точность оценки в начале наблюдений составляет около 0,5 балла. но затем повышается, доходя у опытных наблюдателей до 0,2 балла.

В примечаниях надо отмечать контрастность деталей при наблюдении с каждым светофильтром отдельно, в частности, контраст между темными пятнами («морями») и сушей, а также между светлыми пятнами и сушей.

В один вечер желательно делать по три-четыре рисунка через каждый светофильтр с интервалами в 30—60 минут. Время каждой зарисовки должно отмечаться с точностью до 1—2 минут в момент нанесения самой отчетливой детали.

После окончания серии наблюдений из оценок интенсивности деталей в разные светофильтры можно получить специальные показатели цвета деталей, пропорциональные разности между средними значениями интенсивности тех же деталей в зеленый и красный фильтр.

Наблюдения по методу Вокулера могут дать также весьма существенные сведения о свойствах атмосферы Марса. Но для

этого необходимы систематические наблюдения интенсивности деталей при разных расстояниях их от центра диска, проводимые с одним и тем же инструментом и увеличением, а также учет таких факторов, как прозрачность нашей атмосферы в момент наблюдения *).

Наблюдения светлых пятен и облачных образований. Иногда на Марсе наблюдаются яркие белые пятна, представляющие собой, по-видимому, облака. Они лучше всего видны сквозь зеленый и синий светофильтры. Интересно проследить за изменениями положения и формы этих образований. Для этого нужно каждый раз тщательно отмечать на рисунке их границы пунктиром.

Изредка наблюдается образование больших белых пятен, видимых сквозь все фильтры от красного до зеленого, но невидимых в синий фильтр. Такие пятна, подобно наблюдавшимся с 23 по 31 августа 1956 г., представляют собой, по-видимому, твердые осадки на поверхности планеты.

Особое место занимают «желтые облака», видимые в желтый или красный светофильтр, а также без фильтра и имеющие, вероятно, пылевую природу. Наблюдения за перемещением этих облаков относительно «морей» и «материков» Марса дают возможность определить скорость и направление ветров, т. е. характер циркуляции в атмосфере планеты.

Иногда сплошной слой «желтой дымки» заволакивает обширные районы планеты. Примером тому является большая пылевая буря, разыгравшаяся на Марсе в конце сентября 1971 г. и продолжавшаяся свыше трех месяцев.

Значительно реже «желтых облаков» наблюдаются «синие облака», видимые лишь в синий светофильтр. Природа их окончательно не выяснена, но наиболее вероятно предположение о том, что они состоят из ледяных кристалликов.

Наблюдения «фиолетового слоя». При взгляде на Марс в синий или фиолетовый светофильтр бросается в глаза почти полная невидимость привычных деталей его поверхности (за исключением полярной шапки). Это свидетельствует о наличии в атмосфере Марса крупных рассеивающих частиц, получивших название «фиолетового слоя» или «голубой мглы». Природа их еще не выяснена. При фотографировании Марса с близкого расстояния американскими АМС «Маринер-6» и «Маринер-7» в 1969 г. никаких признаков «фиолетового слоя» обнаружено не было, т. е. Марс в синих лучах выглядел так же, как и в красных. Интересно, что изредка в «фиолетовом слое» и с Земли наблюдаются просветления, иногда в синий светофильтр становятся заметны очертания «морей». Нужно тщательно отмечать случаи таких просветлений и интенсивность «морей», ви-

---

*) Подробнее см. Ж. Вокулер, Физика планеты Марс, ИЛ, 1956, стр. 106—109 и 303—316.

димых в синий светофильтр, одновременно проводя аналогичные наблюдения и с красным светофильтром.

При всех зарисовках Марса нужно обязательно указывать направление суточного движения небесного свода в виде стрелки (для этого надо остановить на время часовой механизм). Это необходимо для ориентировки рисунка.

Юпитер. Юпитер можно наблюдать даже в 2-дюймовую трубу. Из всех планет он представляет собой наиболее доступный объект для наблюдений в небольшие инструменты благодаря сравнительно большим видимым размерам и четкости деталей.

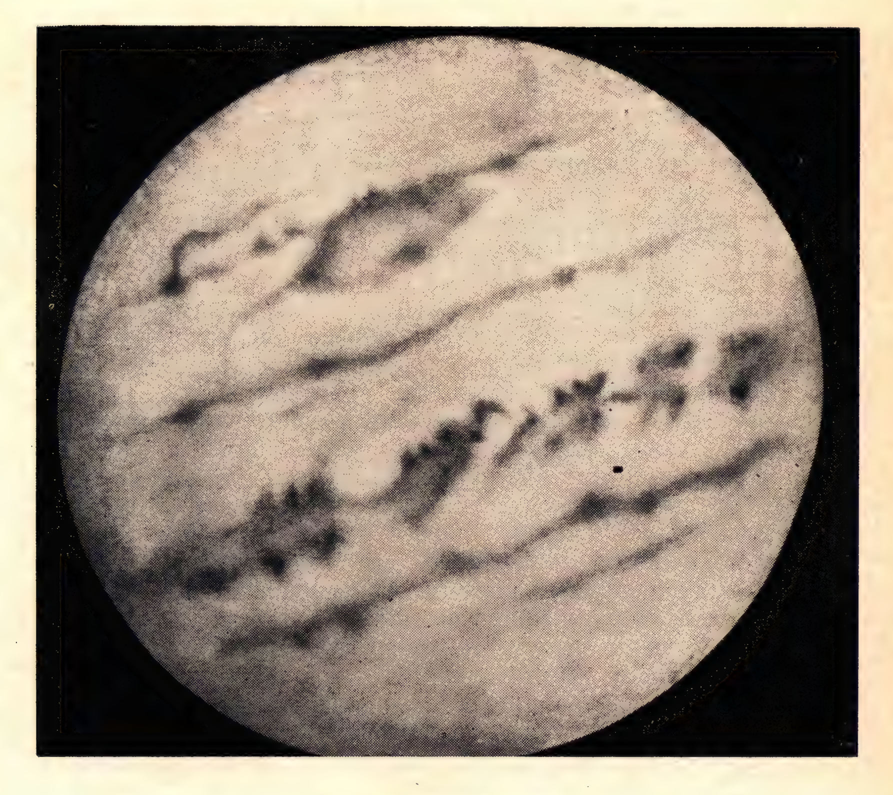


Рис. 143. Рисунок Юпитера.

На поверхности Юпитера всегда наблюдается ряд темных полос, представляющих собой облачные образования в атмосфере планеты (рис. 143). Положение, ширина, интенсивность и цвет этих полос заметно меняются уже в течение нескольких месяцев. Закономерности, а следовательно, и причины этих изменений еще не установлены. Некоторые авторы пытались найти зависимость между ними и солнечной активностью, но

определенных результатов получить пока не удалось. Поэтому наблюдения полос Юпитера, сравнительно несложные по своему характеру, могут иметь большое значение, особенно если они проводятся систематически.

Наблюдения полос. Целью этих наблюдений является изучение долгосрочных изменений их положений по широте, ширины, интенсивности и цвета. Наблюдения могут заключаться в зарисовках вида поверхности планеты и в микрометрических измерениях широты и ширины полос.

На диске планеты бывают видны следующие основные темные полосы:

N-тропическая,	*S*-тропическая,
N-умеренная	*S*-умеренная,
N-полярная	*S*-полярная.

Полярные полосы наблюдаются сравнительно редко. Обычно полярные области бывают закрыты общим потемнением — полярными шапками. Их границы отмечаются всегда весьма неуверенно. Изредка наблюдается тонкая экваториальная полоса (близ экватора).

Светлые пространства между полосами принято называть *зонами.* На Юпитере наблюдаются следующие основные зоны: экваториальная (между *N*- и *S*-тропическими полосами), *N*- и *S*-тропические (между тропическими и умеренными полосами), *N*- и *S*-умеренные (между умеренными и полярными полосами).

Для того чтобы можно было определить ширину и широту полос в различных участках, нужно поступать следующим образом. Прежде всего, наносятся контуры краев самых широких — тропических полос, причем сначала нужно наносить внешние края полос, а потом внутренние. Это удобно потому, что расстояние между внешними краями тропических полос сравнимо с расстояниями от этих краев до полюсов планеты, а с другой стороны, расстояние между внутренними краями этих полос сравнимо с шириной обеих полос. По отношению к тропическим полосам наносятся более слабые умеренные и полярные полосы, а также границы потемнений на полюсах — полярных шапок.

Наблюдения деталей. В качестве основной задачи этих наблюдений можно поставить изучение расположения различных образованный на диске Юпитера по высоте (глубине). Средством для решения этой задачи являются зарисовки наиболее характерных деталей и определение периодов их вращения вокруг оси планеты.

Детали на диске Юпитера можно наблюдать в телескопы от 5 дюймов и выше, но наиболее интенсивные детали, как, например, Красное пятно, видны и в 3—4-дюймовые трубы. Чаще всего наблюдаются темные и светлые пятна, выступы и углубления в краях полос, темные мостики и вуали между по-

лосами, разветвления полос (вилки) и др. Особенно интересным является *Красное пятно*, находящееся между южной тропической и южной умеренной полосами. Оно из года в год изменяет свой цвет, интенсивность и очертания и, кроме того, перемещается по долготе.

При зарисовке деталей нужно нанести сначала самую интенсивную деталь, а остальные наносить уже по отношению к ней. В первую очередь наносятся детали, находящиеся на левой (западной) стороне диска (ибо они вскоре скроются вследствие вращения планеты). Зарисовка должна занимать не более 10—15 минут, так как быстрое вращение Юпитера вокруг оси может привести к искажению картины. Рисунки должны производиться с часовыми интервалами. Для определения периода вращения Красного пятна и других интересных деталей можно отмечать моменты прохождения их через центральный меридиан планеты, делящий ее видимый диск пополам. При таких наблюдениях удобно иметь в фокусе окуляра вертикальную нить, которую нужно совместить с центральным меридианом планеты.

Большой интерес представляют наблюдения прохождения одних деталей над другими. Эти наблюдения могут дать указания на характер расположения полос и деталей Юпитера по высоте. Несколько раз наблюдались случаи, когда темная полоса делила светлое пятно пополам. Надо по возможности определять моменты прохождения таких деталей через центральный меридиан. Следует обратить внимание и на такие формы деталей, как светлые пятна на фоне темных полос и темные мостики между двумя полосами. Как показывают наблюдения, они обычно весьма недолговечны.

Интенсивность полос и деталей надо оценивать по условной шкале, в которой баллом 6 оценивается интенсивность тени спутника на диске Юпитера, а баллом 0 — яркость экваториальной зоны. Самые темные пятна могут иметь интенсивность 5, самые яркие — интенсивность —1.

В апохромат или рефлектор можно наблюдать цвет полос и деталей. Данные об их цвете могут дать также наблюдения их интенсивности со светофильтрами, которые ведутся так же, как и в случае Марса. Нужно производить независимые оценки интенсивности полос и деталей в каждый светофильтр отдельно.

Желательно обращать внимание на различия в цвете полос северного и южного полушарий планеты, поскольку для них заподозрена периодичность в изменении цвета. Особенно интересно наблюдать цвет Красного пятна в течение ряда лет. При всех наблюдениях подобного рода нужно не ограничиваться словесными описаниями цвета, а постараться выработать себе *цветовую шкалу*, наподобие шкалы Остгофа, применяемой для определения цвета звезд и метеоров. Такая шкала сможет выработаться только в результате систематических наблюдений планеты с одним и тем же инструментом.

Сатурн. На поверхности Сатурна также наблюдаются темные полосы *) и детали, но они значительно слабее, чем на Юпитере, и доступны наблюдению только в 4—6-дюймовый телескоп. Иногда на Сатурне появляются яркие белые пятна, подобно наблюдавшемуся в 1933 г. Такие пятна видны и в 3-дюймовую трубу, и их наблюдения представляют большой интерес, особенно при использовании светофильтров. Желательно также определять периоды вращения этих пятен. В остальном наблюдения Сатурна не отличаются от наблюдений Юпитера.

Наблюдения колец Сатурна. До сих пор не разрешен до конца ряд вопросов, относящихся к строению колец Сатурна. К таким вопросам относятся: различие между внешним, средним и внутренним (креповым) кольцом в отношении размеров и свойств составляющих их частиц, причина колебаний относительной яркости восточного и западного ушек кольца и периодичность этих колебаний, толщина самого кольца и строение его в разрезе и т. д.

В свете этих вопросов наиболее ценными наблюдениями, которые доступны любителям астрономии, были бы наблюдения покрытий кольцами Сатурна звезд (до 8-й величины), во время которых блеск звезды сравнивается с блеском окружающих звезд одним из методов, применяемых при наблюдениях переменных звезд. Полученная в результате такого наблюдения кривая блеска затмеваемой звезды даст сведения о сравнительной плотности тех частей кольца, за которыми скрывалась звезда. К таким наблюдениям нужно обязательно приложить схематический рисунок, показывающий, какими частями кольца покрывалась звезда, и список звезд сравнения. Эти наблюдения требуют тщательной подготовки: надо предварительно составить небольшую звездную карту данного участка неба (в пределах поля зрения телескопа), выбрать звезды сравнения. Такие покрытия происходят не часто; сведения о них публикуются в «Астрономическом циркуляре» АН СССР. Желающие заняться подобными наблюдениями должны обратиться в отдел планет и Луны Московского отделения ВАГО (см. стр. 370), откуда можно получить все сведения об ожидаемых покрытиях.

В 3—4-дюймовую трубу можно следить за «делением Кассини», в котором иногда замечаются неправильности (сужения и расширения). Если такая неправильность будет замечена, за ней надо проследить по возможности подольше — несколько часов, а затем попытаться поймать ее в одно из следующих появлений (период вращения кольца у деления Кассини около 12 часов). Очень интересно наблюдать кольцо около моментов его исчезновения, когда оно становится ребром к Земле **).

---

*) Не следует принимать за полосу тень кольца на диске Сатурна.

**) Исчезновения кольца Сатурна бывают еще и от другой причины: когда Солнце и Земля находятся по разные стороны от плоскости кольца, обращенная к Земле сторона кольца не освещается Солнцем и поэтому не видна.

В это время нужно тщательно зарисовывать форму кольца, представляющегося в виде тонкой светлой ниточки с рядом утолщений и разрывов. Ближайшее такое исчезновение кольца Сатурна будет наблюдаться лишь в апреле 1980 г. Небезынтересно также следить за формой тени Сатурна на кольце, так как в ней иногда замечаются неровности.

Весьма простыми являются наблюдения относительной яркости ушек кольца, которые можно вести даже в 40—50-миллиметровую трубу при увеличениях от 50 раз. Яркость обоих ушек надо систематически сравнивать между собой и с яркостью центра диска Сатурна. Наблюдения ведутся по методу Аргеландера (см. § 17, гл. IV) и записываются примерно так:

$$C1W; \quad C2E; \quad W1E,$$

что означает: центр диска на одну степень ярче западного и на две степени ярче восточного ушка; западное ушко на одну степень ярче восточного.

Фотографирование планет. Помимо визуальных наблюдений, любители, имеющие в своем распоряжении телескоп-рефрактор от 5 дюймов и выше, могут заняться фотографированием планет и даже получить снимки, имеющие научную ценность.

Фокусные расстояния рефракторов такого диаметра обычно составляют 2—3 *м*, у рефлекторов системы Ньютона — значительно меньше. Это значит, что снимки планет, полученные в фокусе объектива (зеркала) телескопа, будут иметь очень маленький масштаб. Так, диаметр изображения Юпитера в противостоянии при $F = 2$ *м* будет составлять 0,4 *мм*, диаметр изображения Марса почти вдвое меньше. Поэтому фотографировать планеты нужно с окулярным увеличением.

Мы опишем здесь устройство фотокамеры, с успехом применявшейся при фотографировании планет на 5-дюймовом рефракторе.

В качестве корпуса камеры лучше всего использовать зеркальный фотоаппарат «Зенит». Преимущество его состоит в том, что зеркальная система позволяет наблюдать планету непосредственно перед съемкой и выбирать моменты успокоений в атмосфере для производства экспозиций. Кроме того, эта система облегчает наводку на планету и фокусировку. Фотографирование производится на 35-миллиметровую пленку.

Объектив из аппарата удаляется и на его место привинчивается металлическая переходная трубка, в которой закрепляется окуляр, служащий увеличительной системой. Другим концом трубка привинчивается к окулярному концу трубы телескопа. Положение окуляра в трубке должно быть выбрано в зависимости от его фокусного расстояния f, диаметра оправы d и желательного увеличения системы v, на основе соотношений

$$\frac{d}{r_1} = \frac{D}{F}, \quad v = \frac{r_2}{r_1}, \quad \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{1}{f},$$

где D и F — диаметр и фокусное расстояние объектива телескопа (величина D/F называется относительным отверстием), r_1 и r_2 — расстояния окуляра от главного фокуса объектива и от пленки соответственно.

Первое из приведенных соотношений вытекает из условия полного использования светового пучка, идущего от объектива телескопа, второе — это формула окулярного увеличения, третье — хорошо известная формула линзы. В случае сложного окуляра расстояния r_1 и r_2 отсчитываются от его главных точек, а d представляет собой диаметр линзы (или ее оправы), обращенной к объективу. Длина трубки будет примерно равна $r_1 + r_2$. Увеличение v следует брать от 5 до 10 раз.

Для устранения влияния хроматической аберрации объектива и улучшения качества изображения планеты лучше фотографировать со светофильтрами. Для этого в трубке делается прорезь, в которую вставляется металлическая рамка со светофильтрами. Размеры светофильтров должны быть таковы, чтобы каждый из них мог полностью перекрыть весь световой пучок. Если светофильтры хорошего качества, рамку можно поставить впереди окуляра, ближе к главному фокусу объектива. Если же светофильтры имеют местные дефекты (царапины и т. п.), рамку лучше поставить ближе к аппарату.

Фотографирование со светофильтрами может дать интересные результаты в отношении цвета деталей на планетных дисках, если известна кривая пропускания светофильтров и снимки будут калиброваны. О том, как это делается, мы расскажем ниже.

Экспозиции должны быть как можно короче, чтобы колебания воздуха за время экспозиций не испортили изображения планеты. Поэтому рекомендуется применять высокочувствительные сорта пленок (чувствительностью 130—250 единиц ГОСТ) типа «Изохром» или «Изопанхром», контрастные. С другой стороны, пленки высокой чувствительности имеют довольно большой размер зерна фотоэмульсии, и поэтому выбор чувствительности должен зависеть от размера изображения планеты. Можно рекомендовать следующие предельные значения чувствительности пленок:

Диаметр изображения (*мм*)	1	1,5	2	4	6
Чувствительность (ГОСТ)	65	90	130	250	350

Подбор экспозиций производится путем получения ряда снимков при разных экспозициях, возрастающих в геометрической прогрессии. Выбирается такая экспозиция, при которой изображение планеты имеет среднее почернение и наибольшую контрастность деталей.

Можно рекомендовать для ориентировочного выбора экспозиций следующую таблицу (для относительного отверстия объектива 1 : 16):

Чувствительность (ГОСТ) / Планета	90	130	250	350
Венера	$0^s,03$	$0^s,02$	$0^s,01$	—
Марс	0,3	0,2	0,1	$0^s,07$
Юпитер	1,2	0,8	0,4	0,3
Сатурн	4,5	3,0	1,5	1,0

При ином относительном отверстии объектива экспозицию нужно изменить обратно пропорционально квадрату отношения этого относительного отверстия к тому относительному отверстию, для которого приводится таблица. Например, при $D/F = 1:8$ на пленке чувствительностью 250 ед. ГОСТ снимать Юпитер нужно с экспозицией 0,1 *сек*.

Очень важным элементом подготовки к фотографированию планет является фокусировка камеры. Грубая фокусировка производится (для каждого светофильтра отдельно) по изображению планеты, видимому через зеркальную систему камеры «Зенит». Точная фокусировка производится по фотографическому изображению самой планеты или по следам звезд, полученным при выключенном часовом механизме. Нужно добиться, чтобы следы звезд были тонкими и резкими.

Процесс фотографирования камерой «Зенит» заключается в том, что наблюдатель, наведя телескоп на планету и установив положение фокуса и светофильтр, смотрит в окно камеры на диск планеты и ждет момента успокоения атмосферы. Когда диск планеты успокаивается, наблюдатель с помощью тросика производит экспозицию, после чего перематывает пленку на новый кадр, одновременно взводя затвор. Поскольку в большинстве случаев придется пользоваться выдержками, бо́льшими 1/25 *сек*, надо потренироваться в производстве от руки выдержек в 0,1; 0,2; 0,3 *сек* и т. д. Можно воспользоваться метрономом, а при больших экспозициях — секундным маятником часов, открывая и закрывая затвор под его удары.

При фотографировании планет нужно обратить особое внимание на тщательную запись наблюдений в журнал. В журнале должны быть указаны: номер пленки, номер кадра, дата, время (с точностью до 1 минуты), светофильтр, величина экспозиции, положение кремальеры. В примечаниях следует указывать условия наблюдений (ясно, дымка, Луна, рассвет и т. п.), а также все обстоятельства фотографирования, не перечисленные выше

Чтобы полученные снимки можно было использовать в фотометрических целях, их нужно прокалибровать, т. е. впечатать на ту же пленку шкалу почернений от трубчатого фотометра или ступенчатого ослабителя. Для этого отрезанный кусок

пленки вставляется в трубчатый фотометр *) и подвергается экспонированию. Источником света может служить белый экран, освещенный светом сумеречного неба или заходящего Солнца, а также равномерное по яркости пасмурное небо, поверхность свежевыпавшего снега и т. д. Фотометр должен быть прикрыт тем же светофильтром, который применялся при фотографировании планеты. Экспозиции при калибровке должны быть близки к рабочим экспозициям. В журнале для калибровки надо отмечать номер пленки, условия калибровки (источник света, экспозиции, светофильтр), дату и время.

Если калибровка производилась на отдельном куске пленки, обе пленки должны проявляться одновременно, в одном бачке.

Можно рекомендовать следующий рецепт проявителя для проявления снимков планет:

Проявитель Чибисова

Воды (при 50° С)	750 *см*^{3}	Соды кристаллической	54 *г*
Метола	1 *г*	(или безводной	20 *г*)
Сульфита кристаллического	52 *г*	Бромистого калия	1 *г*
Гидрохинона	5 *г*	Воды долить до	1 *л*

Время проявления 6—8 минут при температуре 18—20 °С. Фиксирование производится в обычном кислом фиксаже. После фиксирования пленки нужно тщательно промыть в текучей воде в течение 45 минут и высушить.

После окончания фотографической обработки пленок их надо сопоставить с журналом наблюдений и аккуратно пронумеровать все снимки на самой пленке (простым карандашом по эмульсии или тушью по целлулоиду).

Дальнейшая обработка фотографий планет как для фотометрических целей, так и для определения координат деталей может производиться под руководством специалистов в случае наличия необходимого лабораторного оборудования (микрофотометр, измерительный прибор).

* * *

Все наблюдения планет нужно посылать в отдел планет Московского отделения ВАГО (103009, Москва, К-9, а/я 918). Оттуда же можно получить советы и указания по поводу организации и проведения наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бронштэн В. А., Планеты и их наблюдение, Гостехиздат, 1957.
2. Барабашов Н. П., Инструкция для наблюдений Марса, Изд-во АН СССР, 1961.
3. Исследования планеты Юпитер (сборник), «Наука», 1967.

*) Об устройстве трубчатого фотометра см. книгу «Солнечные затмения и их наблюдения», Физматгиз, 1960.

§ 5. Инструкция для наблюдений комет

В последние годы все более широкие круги любителей и специалистов-астрономов интересуются кометами и многие упорно ведут поиски комет на небе. Именно здесь они приносят очень большую помощь науке. За 5 лет, которые соответствуют периоду включения наблюдений комет в программу исследований Международного года Спокойного Солнца (1964—1968 гг.) из 23 новых комет 13, т. е. больше половины, были открыты любителями астрономии. У таких замечательных, прославивших свое имя ловцов комет, как К. Икейя или Ц. Секи в Японии, Дж. Олкок в Англии, Эверхарт в Америке, в среднем на открытие одной кометы уходит 200—300 часов ночных наблюдений. Но бывают и такие случаи, как в октябре 1968 г., когда молодой любитель астрономии Бэлли, проверяя телескоп своего коллеги и отыскивая кольцеобразную туманность в Лире, «наткнулся» на новую комету. Что же нужно знать, чтобы искать и обнаруживать кометы?

Поиски комет. Нужно использовать безлунные часы ночи и выбирать место наблюдений, удаленное от освещенных городов или селений. При визуальных поисках наилучшим прибором может служить бинокулярная труба (например, бинокуляр «Асемби» Цейса, еще лучше БМТ-500). Однако может принести пользу и хороший призматический бинокль, или трубка АТ-1 для наблюдений искусственных спутников.

Бинокль или трубку необходимо укрепить на штативе, хотя бы самодельном, который позволял бы без всякого дрожания рассматривать поле зрения. При наблюдениях необходимо иметь атлас с нанесенными туманностями и звездными скоплениями и фонарик со щитком для освещения атласа. Можно заранее изучить по карте избранную область и не нарушать адаптацию глаз подсветками фонаря.

Выбранная область тщательно просматривается при перемещении бинокуляра или бинокля вдоль круга высот в определенной зоне. В ясную безлунную ночь с призматическим биноклем (30×6) можно в зените замечать объекты $9^m,5$—10^m; бинокуляр при увеличении 20—25 позволяет наблюдать звезды до 11^m—$11^m,5$ (только в условиях хорошей прозрачности и отсутствия засветок неба). Всякий подозрительный объект, выделяющийся своим внешним видом, намеком на туманную оболочку, должен тщательно рассматриваться с большим увеличением (в бинокуляр или трубу).

Как выбирать зоны для просмотра? Вообще на утреннем небе открывается больше комет, чем на вечернем, и это соответствует общим теоретическим соображениям (Эверхарт); однако отсюда вовсе не следует, что все ловцы комет должны просматривать только утреннее небо. Много может принести «Служба зари» — систематический просмотр неба, вечером в

западной (зимой в юго-западной) области, утром перед восходом Солнца на востоке с целью обнаружения комет, выходящих из близости к Солнцу. В последние годы неоднократно таким образом открывались яркие кометы, хвосты которых появлялись сначала из-за горизонта, в сегменте зари. Поэтому наряду с систематическим упорным просмотром всех слабых объектов в поле зрения бинокуляра (трубы) нужно взять себе за правило тщательно проглядывать весь западный (вечером) или восточный (перед восходом Солнца) горизонты, чтобы не пропустить возможное слабое свечение хвоста кометы.

В первой половине ночи следует вообще просматривать «уходящее» небо — западную и юго-западную часть, идя полосами все выше, по направлению к зениту. В наших широтах (45—60°) представляет большой интерес и северное небо: например, известная комета Ахмарова—Юрлова—Гасселя (1939 III) была открыта на северном небе нашими северянами — любителями астрономии. Полярные районы неба вплоть до зенита можно наблюдать с еще большими удобствами, из-за меньшей скорости углового перемещения светил.

Наблюдатели должны иметь рядом с трубой звездный атлас, желательно Бечваржа, где указаны звезды до $8^m,5$ (этого мало), но туманности до $10—11^m$. Следует раздобыть и держать вблизи атласы Бечваржа: северного неба, эклиптикальной зоны и южного неба; там приведены звезды до $10—10^m,5$ и показаны их цветовые характеристики.

В планетариях и отделениях Всесоюзного астрономо-геодезического общества могут быть также копии Боннского Обозрения неба или различные фотографические атласы. Кроме того, нужно иметь часы с известной поправкой (следить по радио ежедневно), точной до секунды или нескольких секунд.

Сразу же после обнаружения подозрительного объекта следует проверить его место по атласу или списку туманностей и звездных скоплений и, убедившись в том, что объект новый, определить его положение. Следует просмотреть открытый объект со всеми возможными увеличениями; проверить, не является ли это планетой или известной уже кометой. Для этого необходимо иметь с собой «Астрономический Календарь» и последние 4—5 номеров «Кометного циркуляра», издаваемого кафедрой астрономии Киевского университета. Здесь публикуются эфемериды периодических комет и сообщения об открытиях новых комет.

Приближенные координаты заподозренного объекта следует измерить по сетке атласа, нанеся его положение среди звезд на кальке, наложенной на атлас. Окончательным подтверждением открытия может быть наблюдение смещения кометы среди звезд, заметное при увеличении в 100—150 раз уже через 10—20 минут. Здесь не нужно торопиться, но и не следует бездеятельно ожидать слишком долго. Необходимо подтвердить

приоритет открытия и дать возможность специалистам скорее произвести точные определения положений кометы и другие наблюдения.

Открытие может считаться совершенно бесспорным, если довольно яркий объект 7-й—9-й звездной величины, или ярче, не совпадает с какими-либо туманностями в атласе Бечваржа, имеет кометный вид, не является планетой или новой открытой до этого кометой.

Тогда нужно телеграфировать об открытии по адресам: Москва В-234, ГАИШ и Киев «Солнце». Нужно указать координаты кометы, эпоху атласа, время наблюдений, яркость, вид кометы и свою фамилию. Желательно указать также, как движется комета, приведя смещения $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$, пересчитанные на суточные и указав соответствующие знаки смещений. После отсылки телеграммы не следует бросать наблюдений, необходимо следить за кометой возможно дольше, отмечая положение ее среди звезд в точно фиксированные моменты времени, определяя блеск и изучая внешний вид кометы.

На следующую ночь необходимо обязательно найти этот объект и продолжать наблюдения. Всегда может оказаться, что небо над большими обсерваториями неблагоприятно и судьба открытия будет зависеть от первых наблюдений. Часто бывало, что кометы открывались во время вспышки яркости и затем быстро ослабевали.

С историей открытий комет можно ознакомиться по книгам С. В. Всехсвятского «Физические характеристики комет», Физматгиз, 1958; «Физические характеристики комет 1954—1960», «Наука», 1966 и «Кометы 1961—1965», «Наука», 1967. Однако здесь указаны лишь благополучные открытия, когда были произведены многочисленные наблюдения кометы и определена ее орбита; известен ряд случаев, когда не удалось собрать необходимых наблюдений и комета была потеряна *).

Наблюдения ярких комет. Появления ярких комет, видимых невооруженным глазом и обладавших заметными хвостами, — далеко не редкое событие. На протяжении последних 10 лет наблюдалось не менее 15 таких комет. Вот несколько примеров.

Длинный хвост кометы Вильсона — Хаббарда 1961 V, вышедшей из-за Солнца, был обнаружен сначала с высотных самолетов, а затем и с земли. Комета 1962 III была открыта еще сравнительно слабой любителями Секи (Япония) и Лайнсом (Америка) в начале февраля; в начале апреля она вышла после прохождения перигелия на северное небо с замечательными хвостами длиной 6—10°. В следующем году комета 1963 I, открыта 19-летним любителем астрономии К. Икейя (Япония), уже

*) Описания открытий комет и кометоподобных объектов за текущие годы регулярно публикуются в Переменной части Астрономического Календаря.

через месяц имела звездную величину 3—4^m, со струйчатым хвостом, который на фотографиях достигал 15—20°. В том же году комета 1963 III, открытая в марте английским любителем Дж. Олкоком, в конце мая увеличила блеск на две с половиной звездные величины и стала видна невооруженному глазу. Длинным (до 17—18°), быстро изменяющимся хвостом обладала комета 1964 VI, названная именами трех первых открывателей: Томиты—Гербера—Хонда.

Но самой замечательной кометой этого периода оказалась комета 1965 VIII, открытая Икейя и Секи. Проходя вблизи Солнца 21 октября, она стала столь яркой, что была видна днем; с конца октября, выйдя на утреннее небо, она представляла замечательное зрелище, с хвостом более 20—30°.

Две яркие кометы были открыты и в 1969 г. 10 октября японские любители астрономии Таго, Сато и Косака независимо открыли комету 1969 g, которая была тогда 10-й величины, но, приближаясь к Солнцу и Земле, достигла в конце января — начале февраля 1970 г. блеска $1^m,5$ и была прекрасно видна в Советском Союзе. Еще ярче была комета 1969 i, открытая 30 декабря 1969 г. Дж. Беннетом в Южной Африке, которая стала хорошо видна в СССР в конце марта — начале апреля 1970 г. Многочисленные фотографии этих комет, полученные советскими астрономами, были опубликованы в журнале «Земля и Вселенная» (№№ 4, 5 за 1970 г.). Две из них даны на рис. 144 и 145.

Наблюдения ярких комет, часто обладающих малым перигелийным расстоянием, представляет выдающийся интерес. Обычно в голове и хвосте таких комет происходят быстрые изменения, и каждая фотография, каждый рисунок может иметь серьезное научное значение. Необходимо использовать все возможности ясного неба для наблюдений яркой кометы, применяя для этого доступные средства. Прежде всего следует наладить фотографирование кометы; здесь пригодны любительские аппараты типа ФЭД, «Зоркий», «Киев», «Зенит» и любые другие камеры. Фотоаппарат желательно заранее укрепить на простейшем параллактическом штативе. (который легко можно изготовить самому) или, в крайнем случае, на горизонтальной установке трубок для наблюдений спутников, или на подъемном столике. Жителю города следует выехать за 20—30 *км* и на возвышенной местности установить приборы. Время должно быть известно с точностью до 1 секунды. Для этого следует систематически сверять часы с радиосигналами времени.

При фотографировании ярких комет на высокочувствительную пленку (150—250 ГОСТ) может быть достаточна экспозиция 1—4 минуты. О простейших устройствах для гидирования камеры по комете можно узнать, например, в книжке Т. Вокулера и А. Тексеро «Фотографирование небесных тел», «Наука», 1967. Важно освоить метод фотографирования и более слабых комет.



Рис. 144. Комета Беннета. Фотография получена 5 апреля 1970 г. в г. Рыбинске (Ярославская обл.) учеником 8 класса В. Фроловым, с помощью самодельного телескопа (экспозиция 3 минуты).

Рис. 145. Комета Беннета. Фотография получена 10 апреля 1970 г. Н. С. Черных на светосильной камере. Вверху виден след искусственного спутника Земли.

Рекомендуется не ограничиваться одним снимком, а получать для каждой ночи последовательные фотографии в течение всего периода видимости кометы. Уже первый опыт фотографирования комет должен показать, какие фотоматериалы и проявитель наиболее подходят. Сравнительное изучение фотографий может дать важные сведения о характере изменений в комете. Представляют интерес и имеют определенное значение и визуальные наблюдения с биноклями, небольшими телескопами и даже невооруженным глазом. Отметив момент времени и ориентируясь по звездам, нужно нанести на кальке, скрепленной со звездным атласом, положение кометы и ее хвостов (которых может быть несколько) и оценить их длину, ширину, разрывы или неоднородности, как они видны невооруженному глазу, в бинокль или трубу. Следует обратить внимание на цвет кометы, особенности строения головы; у ярких комет ядро и внутренние части головы обычно бывают ярко-желтого цвета (излучение паров натрия) тогда как последовательные оболочки головы и хвосты — зеленоватого или голубоватого цвета.

Важно вести такие наблюдения систематически, используя все ясные ночи. Много интересного может принести фотографирование спектра кометы с подходящей призмой перед объективом фотоаппарата. Ребро призмы, с углом порядка 60°, следует ориентировать параллельно направлению хвоста кометы. Закрепление камеры на столике или параллактическом штативе следует проделать заранее по яркой звезде или планете. Для рассматривания спектра яркой кометы можно воспользоваться даже школьным спектроскопом прямого зрения; здесь важно отметить и определить положение линий и полос в спектре, следить за их изменением.

Серьезное научное значение имеет определение блеска всей головы кометы и ее ядра. Такие наблюдения по отношению не только к ярким, но и к более слабым кометам можно особенно рекомендовать любителям астрономии.

Оценки интегрального блеска комет. Производятся с помощью трубы, бинокуляра или бинокля, а в случае комет ярче 5^m — невооруженным глазом. Оценки делаются в сравнении со звездами, ближайшими к комете, по методу внефокальных изображений. Звезды выбираются и ярче и слабее кометы; их названия записываются в журнале наблюдений, или, если комета 7—9^m, они отмечаются условными обозначениями на схематической карте окрестностей кометы.

При сравнении внефокальных изображений кометы и звезд приходится учитывать, что звезды представляются более или менее равномерными кружочками, тогда как комета видна неравномерным пятном, значительно бо́льших размеров, с размытыми краями. Само сравнение рекомендуется проводить по методу Блажко — Нейланда (см. § 17, гл. IV).

После приобретения необходимого опыта оценки делаются весьма уверенно. Можно производить также сравнение фокальных изображений кометы с внефокальными изображениями звезд, когда размеры внефокальных изображений звезд доводятся до угловых размеров головы кометы. Этот метод сложнее, так как здесь перед тем как изображения звезд выводятся из фокуса приходится запомнить яркость головы кометы.

Имея школьный телескоп или другую астрономическую трубу, можно для оценки использовать прием, предложенный А. Н. Воловым (в Москве) и применявшийся М. Бейером (Гамбург—Бергедорф) уже более 40 лет. Он основывается на таком значительном выдвижении окуляра из фокуса, чтобы полностью пропадало изображение звезды или кометы; соответствующая степень выдвижения окуляра для звезд и кометы отсчитывается на окулярной трубке, после чего можно вычислить звездную величину кометы по экспериментально найденной зависимости «выдвижение — звездная величина».

Оценки блеска головы кометы или ее ядра можно производить и по фотографическим пластинкам, подбирая соответствующие величины звезд сравнения. Величины звезд сравнения приводятся в различных каталогах, о которых можно узнать, например, в книгах «Что и как наблюдать на небе» В. П. Цесевича или «Справочник любителя астрономии» П. Г. Куликовского. Хорошей основой могут служить звезды Северного Полярного Ряда или звезды Плеяд, с которыми можно сравнить выбранные звезды сравнения.

Группы любителей астрономии в Польше, в США и других странах занимаются наблюдениями комет и определением их визуального блеска. На основании сопоставления многочисленных наблюдательных данных выводятся колебания блеска комет, которые зависят от состояния солнечной активности и, главным образом, от действия на комету корпускулярных потоков и солнечного ветра в межпланетном пространстве.

Желательно делать несколько оценок блеска за вечер или за ночь. Известны случаи, когда кометы почти на глазах наблюдателей «вспыхивали», увеличивая свой блеск в несколько раз, а иногда и в несколько десятков раз. К таким вспыхивающим кометам принадлежали комета Понса—Брукса (с периодом 70 лет), открытая впервые в 1812 г. и наблюдавшаяся в 1884 и 1954 гг., и знаменитая вспыхивающая комета Швассмана — Вахмана I (открыта в 1927 г.) с круговой орбитой и периодом в 16 лет, движущаяся на расстоянии 5,5—6,5 а. е. от Солнца.

Резкую вспышку блеска 27 мая 1963 г. испытала и параболическая комета 1963 III (Олкока), увеличившая блеск за несколько часов в 5—6 раз.

Телескопические наблюдения комет. В народных обсерваториях, в обсерваториях планетариев, школ или пединститутов многие любители могут проводить телескопические наблюдения

комет. С инструментом (рефрактором или рефлектором) в 4—8 дюймов (10—20 *см*) можно с успехом следить за кометами до $10-11^m$, а при отсутствии засветки неба (т. е. за городом) даже и до 12^m.

Для более квалифицированных наблюдений комет необходимо тщательно отрегулировать установку телескопа и отсчетные круги (часовой и склонения), чтобы обеспечить точную наводку телескопа по координатам кометы и хорошее ведение инструмента. Нужно обеспечить в башне время с точностью до секунды, регулярно получать поправки часов. В башне необходимо иметь «Астрономический Ежегодник СССР» на текущий год и атласы неба, желательно Бечваржа или А. А. Михайлова (со звездами до 8,25 зв. вел.). Если телескоп не имеет окулярного микрометра с неподвижными и подвижными нитями, то можно воспользоваться широкоугольным окуляром, дающим увеличение 100—150 раз, и жестко связать с ним указатель разделенного круга, укрепленного на окулярной части телескопа, и закрепляющее устройство. Это даст возможность отсчитывать позиционные углы деталей в комете. Сам окуляр следует превратить в кольцевой микрометр. На внутренней или внешней диафрагме окуляра (для отрицательной или положительной системы) нужно укрепить кольцо, на котором и натянуть систему паутинных нитей, сделав для них предварительно насечку на возможно более точно измеренных местах — 5—7 горизонтальных нитей и три вертикальные. Горизонтальные нити располагаются приблизительно через 0,5 *мм*. Для двухметровой трубы расстояние между горизонтальными нитями будет соответствовать приблизительно 50″. Эта работа потребует большой тщательности выполнения. Нити нужно, закрепив на концах свинцовые грузики, проварить в кипятке и располагать по насечкам, чтобы они растянулись; закреплять их нужно лаком, но не масляным *).

Зато, если после нескольких неудач будет достигнут успех, инструмент будет оборудован важным прибором, который позволит вести разнообразные наблюдения. Специальными наблюдениями нужно будет определить со всей возможной точностью угловые расстояния между горизонтальными нитями, исследовать их параллельность и другие особенности микрометра.

Определение положения комет. С окулярным нитяным микрометром или кольцевым микрометром можно производить определение положений комет на небе с точностью порядка $0^s,1$ по α и 1″—0″,5 по δ. После того как комета обнаружена по эфемериде (эфемериды публикуются в «Кометном циркуляре» кафедры астрономии Киевского университета, который высылается всем наблюдателям комет), двигая телескоп по часовому углу,

*) Вместо паутинных нитей можно вставить в окуляр стеклянную пластинку со штрихами (например, от измерительной лупы). Об устройстве микрометра и работе с ним см. также стр. 279.

нужно найти впереди или сзади кометы (по суточному движению) достаточно яркую звезду $7-9^m$, которая могла бы находиться на картах Бечваржа и в каталогах точных положений. Звезда устанавливается на центральной горизонтальной нити, проходящей через центр поля зрения. При неподвижной трубе по часам отмечаются точные моменты исчезновения и появления звезды при прохождении окулярного кольца и независимо, по секундомеру, промежуток времени видимости звезды внутри кольца. Не смещая трубу, наблюдатель может записать показания часов и секундомера и приготовиться к наблюдению прохождения кометы.

Комета будет проходить выше или ниже звезды в поле зрения, причем время ее прохождения приблизительно известно заранее (по разности прямых восхождений). По часам отмечаются точные моменты исчезновения и появления кометы из-за кольца (два исчезновения и два появления), а с секундомером — независимо время прохождения кометы внутри кольца. Оно должно быть меньше времени прохождения звезды, так как комета будет идти не по диаметру, а по хорде. Внутренний (r') и внешний (r'') радиусы кольца могут быть точно измерены по времени прохождения звезд. Среднее значение $(r'+r'')/2 = r$. Координаты звезды α и δ известны, приблизительные значения для кометы $\alpha_к$, $\delta_к$ даются в эфемериде или могут быть оценены с помощью кругов телескопа. Вообще же не обязательно пропускать звезду через центр кольца. Тогда вместо r' и r'' будем иметь хорды a_1' и a_1'', а для кометы — a' и a''.

Если в общем случае τ_1, τ_2, τ_3 и τ_4 — моменты исчезновения и выхода из-за кольца для кометы и t_1, t_2, t_3, t_4 — для звезды в секундах времени, считая от некоторого нулевого момента, то

$$\frac{a' \pm a''}{2} = \frac{15}{4}\left[(\tau_4 - \tau_1) \pm (\tau_3 - \tau_2)\right] \cos \delta_к,$$

а для звезды также

$$\frac{a_1' \pm a_1''}{2} = \frac{15}{4}\left[(t_4 - t_1) \pm (t_3 - t_2)\right] \cos \delta$$

в секундах дуги. Учитывая, что

$$\frac{a' + a''}{2r} = \sin A_к \quad \text{и} \quad \frac{a' - a''}{2r} = \sin B_к,$$

найдем разность между склонением кометы и склонением центра колец D:

$$\delta_к - D = r \cos A_к \cdot \cos B_к.$$

Аналогично для звезды:

$$D - \delta = r \cos A \cdot \cos B.$$

Разность или сумма этих выражений дает $\delta_к - \delta$ — разность скло-

нений звезды сравнения и кометы. Разность прямых восхождений

$$\alpha - \alpha_к = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4) - (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4)}{4}.$$

В найденные координаты кометы должны быть внесены далее небольшие поправки за дифференциальную рефракцию и за смещение кометы при ее прохождении кольца в результате движения по небу (об этом см. стр. 279).

После приобретения необходимого опыта кольцевой микрометр, как показывают наблюдения, может давать хорошие результаты, имеющие научную ценность. Желательно иметь в башне часы, идущие по звездному времени, однако находить комету по координатам можно также, привязываясь к какой-нибудь звезде, координаты которой приводятся в ежегодниках. Вначале телескоп наводится на звезду, а затем труба смещается по кругам в соответствии с разностью координат звезды и кометы.

Стационарный телескоп обсерваторий школ, techинститутов и планетариев весьма целесообразно оборудовать постоянным астрографом для фотографирования комет и определения их положений. Светосильный объектив с фокусным расстоянием 50—100 *см* может послужить для изготовления астрографа, который сможет участвовать в важной Службе комет.

Наблюдение деталей кометы в голове и хвосте. Нити, натянутые в окуляре, и позиционный круг, установленный на окулярном конце трубы, позволят измерять различные детали головы и хвоста яркой кометы. Очень важно оценить размеры видимого ядра или центрального сгущения, если оно выделяется с достаточной определенностью. На основании известных угловых расстояний между нитями (или штрихами окулярного микрометра) такую оценку можно произвести с точностью до нескольких секунд. Таким же образом важно оценить расстояния от ядра до различных деталей головы или хвоста (границы различных оболочек, расстояния до вершины головы, ширина, отдельные сгущения, лучи, темные промежутки в хвосте и т. п.) и вместе с тем измерить их позиционный угол относительно ядра.

Нуль-пункт позиционного угла (отсчитывается от северного направления круга склонения через восток) устанавливается по суточному движению звезд. Важным наблюдением является определение позиционного угла хвоста. У ярких комет положение хвоста определяется по соседним звездам. Если α_1, δ_1 и α_2, δ_2 — координаты двух звезд, проектирующихся на ось хвоста, то позиционный угол p этой части хвоста будет определяться выражением (для случая, когда видимые расстояния до звезд невелики)

$$\sin p = \frac{\sin[(\alpha_2 - \alpha_1)^\circ \cos \delta_2]}{\sin[(\alpha_2 - \alpha_1)^{\circ 2} \cos^2 \delta_2 + (\delta_2 - \delta_1)^{\circ 2}]^{1/2}},$$

где α_2 и δ_2 — координаты звезды, более удаленной от ядра; квадрант p определяется знаками разностей α и δ. Позиционный

угол начала хвоста определяется, если вместо α_1 и δ_1 взять координаты ядра кометы α_0, δ_0.

Положение средней линии хвоста можно сравнить с направлением проекции на небе продолженного радиуса-вектора кометы — линии, соединяющей Солнце и ядро кометы.

Координаты точек продолженного радиуса-вектора на небе должны отвечать соотношению:

$$\sin(\alpha_0 - \alpha) \operatorname{tg} \delta_\odot = \sin(\alpha - \alpha_\odot) \operatorname{tg} \delta_0 - \sin(\alpha_0 - \alpha) \operatorname{tg} \delta,$$

откуда, задавая значения α, можно находить δ для точек продолженного радиуса-вектора. Позиционный угол может быть вычислен по формуле

$$\operatorname{tg} p = \frac{\sin(\alpha - \alpha_0)}{\cos \delta_0 \operatorname{tg} \delta - \sin \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)},$$

где α_0, δ_0 и α, δ — координаты ядра и какой-нибудь точки продолженного радиуса-вектора. Координаты Солнца $\alpha_\odot$ и $\delta_\odot$ берутся из Ежегодника для момента наблюдения.

Угол между средней линией хвоста и продолженным радиусом-вектором вообще характеризует тип хвоста по Бредихину. Однако у хвостов I типа (тонких, неоднородных, лучистых) колебание значений p указывает на активность хвоста, на быстро меняющиеся условия в межпланетном пространстве.

Поляриметрические наблюдения. Телескоп может быть использован для проведения визуальных поляриметрических наблюдений комет. Еще почти полтора столетия назад визуальные наблюдения Араго указали на значительную степень поляризации света комет.

На телескопе в качестве поляризующего устройства может быть использован поляроидный фильтр (поляризационный светофильтр) который легко достать в магазинах школьного оборудования или в фотомагазинах. Поляроидный фильтр может быть укреплен на окуляре телескопа (так, чтобы его можно было вращать относительно оси телескопа) и снабжен простейшим устройством для отсчета углов поворота.

Через фильтр рассматривается изображение кометы, чтобы подметить, не меняется ли яркость изображения или отдельных деталей головы кометы и хвоста при вращении поляроида в его плоскости. Положение поляроида, при котором изображение кометы всего сильнее ослабевает, позволяет найти направление плоскости поляризации в комете — оно на 90° при этом будет отличаться от плоскости поляризации фильтра, положение которой указано на оправе фильтра. Отмечая, как сильно изменяется яркость изображения при вращении поляроида, можно приближенно оценить степень поляризации света кометы. Но и при отсутствии телескопа наблюдения через поляроид головы и хвоста яркой кометы могут представить большой интерес. Необходимо лишь, чтобы такие наблюдения проводились в местах,

далеких от ярких источников света (за городом), по возможности в течение всего периода видимости кометы. Следует вести подробную запись наблюдений и отмечать все изменения, которые могут происходить в особенностях свечения кометы. Визуальные поляриметрические наблюдения представляют очень интересную задачу для любителей астрономии, потому что здесь с очень скромными средствами могут быть получены важные сведения о быстрых изменениях, которые вполне возможны в хвосте и особенно в голове кометы.

Параллельно с визуальными наблюдениями можно наладить фотографические наблюдения поляризации ярких комет. Для этого следует собрать агрегат из трех однотипных любительских аппаратов (например, «Зоркий»), снабженных поляризационными фильтрами. Положение плоскости поляризации фильтров должно отличаться у трех аппаратов на 60°. Такой агрегат можно установить на параллактической монтировке, например, школьного телескопа. Производя одновременные и одинаковые экспозиции, например, с помощью устройства, показанного на рис. 184 на стр. 496 (при выборе экспозиции необходимо учесть, что поляроидные фильтры поглощают не менее 30—40% неполяризованного излучения), получим три фотографии кометы.

На каждой из полученных таким образом одновременных фотографий должно быть указано положение плоскости поляризации фильтра (например, по отношению к кругу склонения кометы), дата, момент и продолжительность экспозиции, координаты кометы, фамилия наблюдателя. Чтобы фотографии можно было исследовать фотометрически, на них (или на другом кадре той же пленки) следует нанести фотометрическую шкалу — сделать внефокальный снимок области ярких звезд или впечатать ступенчатый клин, трубочный фотометр и т. д. О дальнейшем использовании таких фотографий можно узнать в [3].

Любителям астрономии открывается широкое поле деятельности в области наблюдений и исследований комет. Группа по исследованию комет Межведомственного геофизического комитета приглашает энтузиастов включиться в дело поисков и наблюдений комет, чтобы занять свое место в советской Службе комет, а может быть, и в истории астрономии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов С. В., О природе комет, Изд-во АН СССР, 1958.
2. Добровольский О. В., Кометы, «Наука», 1966.
3. Инструкция по наблюдениям комет в период МГСС, Москва, 1963.
4. Фотометрия комет, сборник «Наукова думка», Киев, 1966.

§ 6. Инструкция для наблюдений метеоров

Общие принципы организации наблюдений. Необходимо ясно представлять себе, для получения каких сведений проводится данный вид наблюдений метеоров. Например, нанесение путей

метеоров на карту делается для определения радиантов, счет — для определения численности метеоров, фотографирование — для получения их точных скоростей и т. п. Исходя из задач и возможностей, надо четко сформулировать программу. Ценность наблюдений резко возрастает, когда наблюдения проводятся группой наблюдателей. Многие виды наблюдений (многократный счет, базисное фотографирование) вообще нельзя вести в одиночку. Коллектив наблюдателей может также обеспечить длинный ряд наблюдений.

Большое значение имеет хорошо оборудованный стационарный пункт наблюдений. Станция должна располагаться вдали от источников сильного света; в больших городах и в их ближайших окрестностях метеоры наблюдать нельзя. Обычно организуется один основной и несколько корреспондирующих пунктов на расстоянии 20—25 *км*. Основной пункт должен иметь энергопитание для патруля и необходимые удобства для наблюдателей (рис. 146). Базисы и координаты пунктов измеряются с возможной точностью.

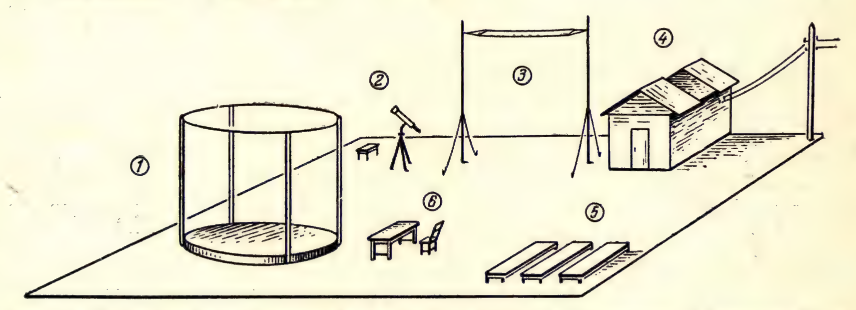


Рис. 146. Примерный вид метеорной станции. *1* — рамка, *2* — бинокуляр, *3* — антенна радиоприемника, *4* — павильон с патрулем, *5* — топчаны для наблюдателей телеметеоров, *6* — место секретаря.

Выбор периодов наблюдений связан с задачами наблюдений. Начинать надо с интенсивных, хорошо проявляющихся метеорных потоков: Персеид, Дельта-Акварид, Геминид и т. п., а затем переходить к более сложным наблюдениям. Луна допускает наблюдения в течение 15—20 дней в месяц. При прочих равных условиях интервалы наблюдений желательно располагать симметрично относительно местной полуночи.

Записи при наблюдениях ведутся простым карандашом, а на следующий день переписываются чернилами. Они должны быть настолько исчерпывающими, чтобы их могло понять и использовать любое лицо, не участвовавшее в данных наблюдениях. Во всех возможных случаях освещения при записях надо избегать совсем.

Любые записи наблюдений метеоров должны включать в себя следующие общие данные: 1) дата (год, месяц, число) с учетом, что ночные наблюдения захватывают обычно двое

суток; 2) поправка и ход часов, время: московское, всемирное и т. п.; 3) место наблюдений, название пункта; 4) какие наблюдения проводятся; 5) фамилии наблюдателей; 6) характеристики применяемых инструментов: поле зрения, увеличение и т. п. Без этих данных наблюдения теряют научную ценность.

Полная обработка и интерпретация наблюдений требуют, как правило, участия специалиста высокой квалификации, измерительных приборов, каталогов и т. п., чем любитель может не располагать. Однако предварительная обработка и систематизация материала лежат на обязанности наблюдателя. Наблюдателю также должны быть известны основные принципы обработки. Это гарантирует от грубых упущений в наблюдениях.

Среди астрономов-любителей исследования метеоров организуют астрономическая секция ВАГО и метеорный отдел Московского отделения ВАГО (103009, Москва, К-9, а/я 918).

Нанесение метеоров на карту и определение радиантов. Основные задачи нанесения метеоров на карту, таковы: 1) *подтверждение теоретических кометных радиантов*, 2) *определение положений и смещения слабых малоизученных радиантов*, 3) *изучение распределения малых радиантов на небесной сфере.*

Наблюдения слабых и кометных радиантов, дающих один-два метеора в час, надо производить в эпоху их действия, которая приводится в соответствующих каталогах (отдел «Таблицы», табл. 8, 9. Наблюдения можно производить практически в любой безлунный период. При этом не следует упускать возможности обнаружения нового, не занесенного в каталоги радианта. Через год можно повторить попытку вновь обнаружить наблюдавшийся радиант.

Метеоры летят в атмосфере практически по прямым линиям, поэтому их пути на небесную сферу проектируются в виде больших кругов. Только на гномонической (центральной) проекции большой круг изображается прямой линией. Существуют звездные карты, вычерченные в этой проекции, но пользоваться ими при наблюдениях неудобно, так как на краях карты получаются сильные искажения, и поэтому при наблюдениях пользуются любой удобной для данной области неба картой (с масштабом не менее 2—4 *мм*/градус), а последующую обработку уже производят на гномонической карте. Для наблюдений можно использовать «Звездный атлас» (малый) А. А. Михайлова. Чтобы не портить карты атласа, следует скопировать область неба на чистый лист бумаги. Достаточно иметь карту области поперечником 80—100°. Карту надо наколоть на лист фанеры. Наблюдатель располагается в удобной позе — сидя или лежа. Цель наблюдений заключается в возможно более точном нанесении метеора на карту, поэтому не нужно стараться нанести непременно все наблюдавшиеся метеоры. При полете метеора надо, некоторое время не сводя глаз с неба, запомнить путь метеора. При этом можно пользо-

ваться линейкой, которую наблюдатель держит на вытянутой руке параллельно метеору. После этого наблюдатель наносит метеор на карту (рис. 147) и записывает следующие данные:

1) Номер метеора, который ставится также у нанесенного на карту метеора; 2) момент с точностью до минуты; 3) звездная величина метеора m; 4) угловая длина метеора в градусах λ; 5) угловая скорость ω в условных обозначениях:

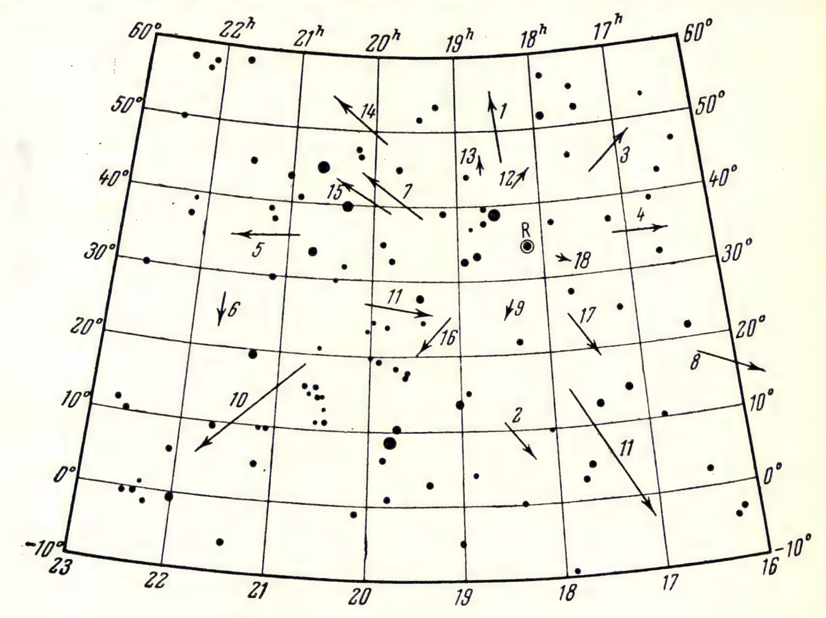


Рис. 147. Нанесение метеоров на карту.

6 — быстрый, 2 — медленный, 4 — средний, 0 — неподвижный, «стационарный»; 6) цвет: *к* — красный, *о* — оранжевый, *ж* — желтый, *з* — зеленый, *г* — голубой, *с* — синий, *б* — белый, *ф* — фиолетовый; 7) примечание о наличии следов, вспышек и т. д.

Бланк для записи может иметь следующий вид:

Журнал для нанесения метеоров на карту

Общие данные о наблюдениях (см. стр. 383)

№	Момент	m	λ	ω	Цвет	Примечания
18	2 ч. 31 м.	3,5	12°	6	*ж*	след 2 *сек*

Физические данные: m, λ, ω, цвет — помогают определить принадлежность метеора к данному радианту. Продолжительность чистого времени наблюдений в каждую ночь должна быть

не менее двух часов, так как при меньшем интервале слабые радианты могут себя не проявить. Особую ценность имеют наблюдения в течение нескольких последовательных ночей. За это время можно проследить время существования, смещение и изменение активности радианта.

Обработка наблюдательного материала начинается с перенесения зарисованных метеоров на карту с гномонической сеткой. Обычно при метеорных работах используют карту в гномонической проекции с касанием проективной плоскости к небесной сфере в точке со склонением $\delta = 45°$ (сетка Лоренцони) (рис. 148). Точки пересечения линий продолжения метеоров

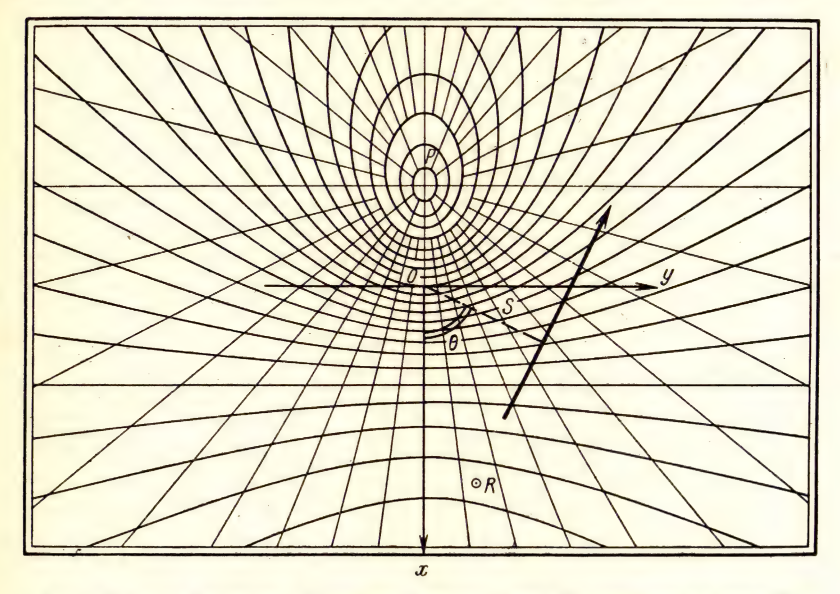


Рис. 148. Сетка Лоренцони. Параллели нанесены через 5°, меридианы — через 10°.

назад могут, вообще говоря, быть радиантами. Однако всегда наблюдается значительный процент (50%) *спорадических метеоров*, не принадлежащих потокам. Образованные ими пересечения являются фиктивными радиантами.

В. В. Федынский и В. А. Мальцев предложили критерий, согласно которому радиант считается реальным. При этом должно выполняться одно из следующих условий: 1) пересекаются пути не менее трех метеоров, наблюдавшихся в одну ночь, или 5 в две смежные ночи, отношение угловой длины λ к элонгации ψ для всех метеоров приблизительно постоянно, физические свойства метеоров близки между собой; 2) из всех наблюденных в одну ночь метеоров в радианте пересекается следующее число продолженных путей метеоров: 4 из 10, 6 из 40, 7 из 60, 8 из 80 и 10 из 100; 3) убедительным доказательством существования радианта

является стационарный метеор (летящий прямо на наблюдателя). Иногда радиант выявляется в процессе наблюдений, когда несколько метеоров в течение короткого времени (1—2 минуты) вылетают из одной точки «пачками».

При нанесении метеоров на карту наблюдатель допускает удлинение или укорочение, перемещение вперед или назад, перемещение в сторону, поворот траектории, — в результате площадь радианта преувеличивается. Нормальным считается, если пути метеоров пересекаются в кружке с радиусом 1,5—2°, а за радиант принимается центр тяжести площади пересечений.

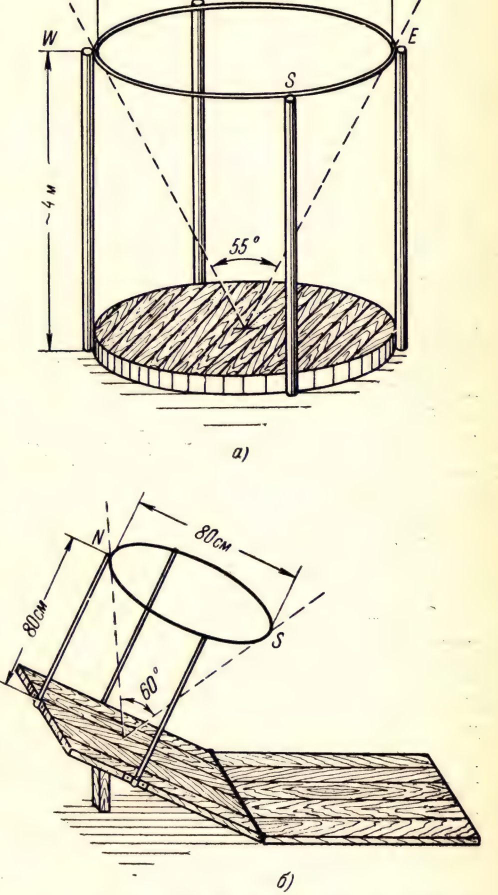


Рис. 149. Рамки для счета метеоров: *а*) для нескольких наблюдателей; *б*) индивидуальные.

Точка пересечений находится на гномонической сетке обычно графически, но, когда метеоров много, есть возможность определить радиант более точно—аналитически. На сетке Лоренцони строится прямоугольная система координат и составляется для каждой линии метеора ее уравнение (см. рис. 148)

$$x \cos\theta + y \sin\theta = s,$$

затем система уравнений решается методом наименьших квадратов (см. § 3, гл. VI).

Полученные из наблюдений радианты следует занести в каталог, причем надо указать количество метеоров, относительную активность, эпоху и продолжительность действия. Если радиант существовал долго, можно по наблюдениям в разные ночи установить его смещение.

Многократный счет метеоров и определение плотности метеорных потоков. Счет метеоров служит для определения важнейших характеристик метеорных потоков: *плотности метеор-*

ных потоков и *функции светимости*, т. е. распределения метеоров по блеску. При систематических наблюдениях можно также изучить *структуру потока*, т. е. распределение метеорных тел различной массы в потоке и вообще в межпланетном пространстве.

Для того чтобы ограничить наблюдаемую область неба, счет метеоров ведется через рамку (рис. 149, *а*). Рамка должна быть такого размера, чтобы вырезать на небесной сфере круглую область поперечником 50—60°. Под одной рамкой может размещаться несколько наблюдателей (лежа, головой к центру), поэтому она должна быть достаточно большой, диаметром и высотой 3—4 *м*.

Круг укрепляется на четырех столбах, расположенных на юге, севере, западе и востоке. Это облегчает ориентировку. Под рамкой устраивается дощатый настил, на который кладутся маты. Такое оборудование позволяет вести наблюдения и в холодную погоду. Вместо одной большой рамки можно соорудить несколько маленьких, например диаметром 1 *м*, для каждого наблюдателя в отдельности. Область неба должна быть у всех наблюдателей одной и той же. При некоторых наблюдениях (например, параллельно с радиолокатором) приходится брать центр области не в зените (рис. 149, *б*).

Один наблюдатель не замечает все метеоры. Чтобы характеризовать внимательность наблюдателя, вводится величина p, называемая *коэффициентом замечаемости*, который неодинаков для метеоров различных звездных величин.

Блеск метеора	0^m	1^m	2^m	3^m	4^m	5^m	6^m
Коэффициент замечаемости	1,00	0,95	0,78	0,51	0,25	0,05	0,001

Это — средние величины; у разных наблюдателей они сильно различаются и несколько меняются со временем. Чтобы учесть все метеоры, необходимо вести многократный счет. Он заключается в том, что несколько наблюдателей одновременно считают метеоры в одной и той же области и при этом регистрируют общие и необщие между наблюдателями метеоры. Из таких наблюдений, по законам математической статистики, можно найти p для каждого наблюдателя и определить истинное число пролетевших в данной области метеоров.

Техника многократного счета может быть различной, в зависимости от того, лежат ли наблюдатели под одной большой рамкой или в целях полной независимости размещаются на расстоянии нескольких десятков метров друг от друга. В первом случае между наблюдателями и секретарем (который сам не наблюдает) существует связь голосом, во втором — от каждого наблюдателя к секретарю для фиксирования момента проводится электрическая сигнализация. В первом случае общность метеора устанавливается непосредственно во время наблюдений.

Секретарь при этом сообщает общий для всех наблюдателей номер метеора и записывает момент пролета. Характеристики метеора записываются под этим номером каждым наблюдателем самостоятельно вслепую (не отрывая глаз от неба) на полоске бумаги, свернутой гармошкой. Характеристики могут также записываться секретарем под диктовку одного из заметивших метеор наблюдателей. Другие наблюдатели, заметившие этот же метеор, говорят свою оценку звездной величины.

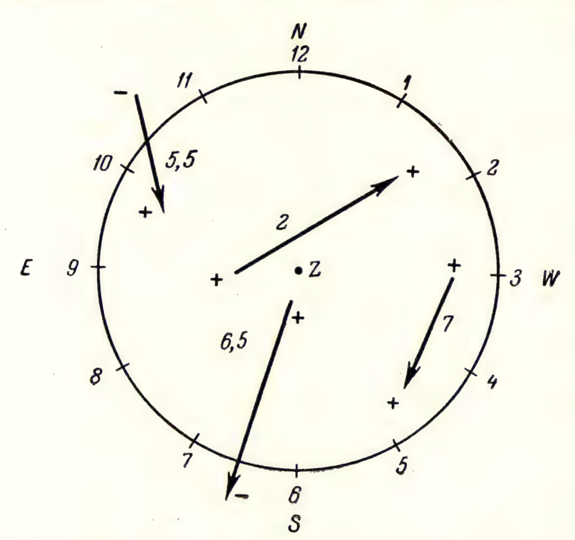


Рис. 150. Определение положения (+−) и направления метеоров по «правилу циферблата».

При работе с электрической сигнализацией записи ведутся вслепую. Наблюдатель не знает, кто кроме него заметил метеор. Общность и моменты устанавливаются уже при сравнении и переписке записей наблюдателей и секретаря. Во время наблюдений следует соблюдать строгую тишину. При счете метеоров регистрируются следующие данные (помимо общих сведений):

1) общий для всей группы наблюдателей номер метеора за данную ночь (сообщается секретарем);

2) момент пролета метеора с точностью до минуты (устанавливается секретарем) T;

3) звездная величина метеора (максимум блеска) m;

4) угловая скорость ω;

5) направление метеора, которое измеряется в часовой мере (по «правилу циферблата»), причем за 12 часов принимается точка севера (рис. 150);

6) принадлежит ли метеор к потоку или он спорадический;

7) положение метеора относительно рамки: если начало и конец метеора лежат внутри рамки, то ставится знак (++);

если начало вне, а конец внутри рамки, то (—+); если начало внутри, а конец вне рамки, то (+—); если начало и конец вне рамки, то (——);

8) общность метеора между наблюдателями (устанавливается путем введения общего номера);

9) зенитное расстояние середины метеора (только если наблюдается не околозенитная область) z;

10) в примечаниях отмечается наличие следа вспышек и т. п.

При счете важен интервал чистого времени наблюдений, поэтому надо тщательно регистрировать момент начала и конца наблюдений и время перерывов для отдыха. Общее чистое время за ночь должно быть не менее двух-трех часов, иначе статистические формулы станут неприменимы. Во время одной ночи наблюдений изменения в составе группы недопустимы. Нежелательны они и вообще за период наблюдений.

Звездная величина метеора определяется по сравнению с находящимися в области звездами, блеск которых надо знать. Угловая скорость отмечается в условной шкале (см. предыдущий раздел). Принадлежность определяется по направлению полета, соотношению угловой длины и элонгации от радианта и комплексу физических свойств метеора. Наблюдателю надо знать, какие потоки действуют в данную ночь. Обычно стараются установить принадлежность к одному из следующих богатых ежегодных потоков: Квадрантиды, Лириды, η-Аквариды, δ-Аквариды, Персеиды, Ориониды, Тавриды, Леониды, Геминиды, Урсиды.

Положение метеора относительно рамки необходимо для того, чтобы определить среднее отношение высот появления и исчезновения метеоров. Характеристики 2, 10, 7, 5, 9, 4 не являются основными, и в случае обильных дождей их в крайнем случае можно отбрасывать в указанном порядке.

При наблюдениях метеоров состояние неба характеризуют предельной величиной звезд m_m, которые видны в наблюдаемой области. При сильной освещенности неба вблизи больших городов в полнолуние и близкие к нему дни счет вести нельзя. Иногда приходится проводить счет метеоров при легких проходящих облаках. При этом степень закрытия области облаками определяют в процентах. Подобные наблюдения имеют небольшую ценность.

Журнал многократного счета метеоров

1. Место наблюдения: г. Симферополь.
2. Дата: 12/13 декабря 1969 г. (московского времени).
3. Время наблюдений: начало 0^h31^m, конец 3^h05^m.
4. Перерывы в наблюдениях: $1^h20^m - 1^h30^m$, $2^h30^m - 2^h45^m$.
5. Предельная звездная величина звезд: $5^m,4$.
6. Наблюдатели: В. Мартыненко (ВМ), А. Клюкина (АК), И. Зоткин (ИЗ). Р. Михайлов (РМ), С. Макарова (СМ), Б. Гольберг (БГ), Л. Пушной — секретарь.

№	Момент	Направление	+−	ω	z	Поток	Наблюдатели						Примечания
							ВМ	АК	ИЗ	РМ	СМ	БГ	
1	0^h33^m	11	++	2	0°	Гем.	3	2,5	3		3,5		
2	35^m	3	−+	4	20	Спор.			4		5	4	Вспышка

В журнале время от времени записывается состояние наблюдателей, так как холод, утомление и т. п. факторы оказывают влияние на наблюдения.

Основной задачей обработки многократного счета является определение истинного числа метеоров каждой звездной величины, попадающих на данную площадь за определенный интервал времени. Можно доказать, что коэффициент внимания p_i некоторого наблюдателя i равен

$$p_i = \frac{\sum n_{ij}}{\sum n_j}, \qquad i \neq j,$$

где n_{ij} — число общих метеоров, замеченных парой наблюдателей i и j, n_j — число метеоров, замеченных наблюдателем j. Истинное число метеоров, попавших на обозреваемую область, N равно

$$N = \frac{n}{1-(1-p_1)(1-p_2)\ldots(1-p_k)},$$

где n — число физически различных метеоров, замеченных всеми наблюдателями, k — количество наблюдателей. Обе формулы применяются для метеоров каждой величины.

Знание истинного числа метеоров позволяет определить пространственную плотность метеорной материи и функцию светимости.

Программа-максимум. И. С. Астаповичем была разработана подробная система регистрации физических, кинематических и геометрических характеристик метеора, получившая название «программы-максимум». Такие наблюдения служат для определения статистическим путем *высот, скоростей, радиантов, масс* и *закономерностей движения* и *свечения метеорных тел.* Программа-максимум требует очень высокой квалификации наблюдателя. Только имея практический опыт наблюдения нескольких тысяч метеоров и исследовав многочисленные личные ошибки, наблюдатель сможет получить надежные результаты.

Рассмотрим характеристики метеора, которые входят в программу-максимум.

1. *Момент пролета T.* Момент должен быть зарегистрирован с точностью, которая соответствовала бы точности определения положения метеора, т. е. с точностью до 1 минуты. Время

определяется по часам с известными поправкой и ходом. Запись момента (так же как и других характеристик) производят «слепым» методом, т. е. не отрывая глаз от неба.

2. *Положение и направление полета.* Для определения координат начала и конца метеора наблюдатель должен очень хорошо знать звездное небо. Практически надо знать все звезды ярче 4-й величины и часть звезд 5-й величины, т. е. ~ 500 звезд. Запись положения и направления метеора удобно вести так: если метеор появился около α Лиры и исчез у α Лебедя, то пишется: α Lyr → α Cyg; если метеор пролетел параллельно направлению о — δ Лебедя, но появился на 2° севернее α Лиры и на 3° не долетел до α Лебедя, то запись будет выглядеть так:

$$\overset{2^\circ}{\alpha\ \mathrm{Lyr}} \rightarrow 3^\circ \alpha\ \mathrm{Cyg}\ \| o\delta\ \mathrm{Cyg}.$$

При обработке наблюдений со звездной карты снимают координаты начала и конца $(\alpha_ч, \delta_н)$; $(\alpha_к, \delta_к)$. Наблюдателю необходимо исследовать также ошибки сноса и поворота.

3. *Угловая длина λ пути метеора* определяется независимо от положения начала и конца по сравнению с угловыми расстояниями между звездами. Следует только помнить, что эталонные звезды должны лежать на той же высоте, что и метеор, так как у горизонта созвездия кажутся больше.

4. *Угловая скорость* ω определяется баллами в следующей шкале:

Стационарный	0	Довольно быстрый	5
Очень медленный	1	Быстрый	6
Медленный	2	Очень быстрый	7
Довольно медленный	3	Чрезвычайно быстрый	8
Средний	4		

Для начала можно пользоваться не всеми баллами, а через один и с приобретением опыта переходить к промежуточным. В редких случаях приходится отмечать угловые торможения (5→4). Лабораторные измерения показали, что баллы связаны с угловой скоростью в *град/сек* степенно́й зависимостью.

5. *Продолжительность полета* τ оценивается в секундах. Наблюдатель должен некоторое время потренироваться в отсчете малых промежутков времени с секундомером. Постепенно у него вырабатывается определенная шкала времени. Время, определяемое наблюдателем, связано с истинным временем линейной зависимостью.

6. *Звездная величина метеора m* находится по сравнению со звездами, находящимися на близкой высоте. Для работы надо знать величины примерно 100 звезд, равномерно распределенных по небу. Достаточная точность оценок достигается опытом и у опытных наблюдателей доходит до $\pm 0^m,25$. Начинающий наблюдатель может записывать звездные величины метеоров с

точностью до 1^m. Отмечается максимум яркости метеора, а яркость вспышек отмечается отдельно.

7. *Цвет метеора с* оценивается по глазомерной шкале Остгофа. Цвета можно определять только у ярких метеоров не слабее 3^m. Иногда цвет метеора меняется, — этот факт также отмечается.

Бело-голубой	—2	Чисто желтый	4
Голубовато-белый	—1	Темно-желтый	5
Белый	0	Красновато-желтый	6
Желтовато-белый	1	Оранжевый	7
Беловато-желтый	2	Желтовато-красный	8
Желтый, чуть беловатый	3	Красный	9

Редкие цвета метеоров: зеленые, фиолетовые.

8. *Очерченность метеора о.* Это понятие характеризует в условных баллах внешний вид метеора согласно следующей шкале:

Очень резко очерченный метеор	5
Резко очерченный метеор	4
Метеор средней очерченности	3
Метеор со слегка размытыми краями	2
Метеор с явно размытыми краями	1

9. *Положение максимума блеска M* на траектории метеора, если он имел место, определяется следующим образом: весь метеор мысленно делят на пять частей, если максимум был вначале, то пишут 1/5, если посередине, то 3/5, если в конце, то 5/5 и т. д. Случается, что метеор не имеет резко выраженного максимума яркости или имеет их несколько.

10. *Плотность метеора n* оценивается в пятибалльной шкале: 1 балл обозначает рыхлый тусклый метеор, 5 баллов — плотный, блестящий звездоподобный метеор.

11. *Угловой поперечник d.* Многие метеоры имеют заметно выраженную протяженность. Это явление связано как с реальными размерами газовой оболочки метеора, так и с иррадиацией. При наблюдениях отмечается кажущийся поперечник d в угловых минутах.

12. *Продолжительность видимости следа* τ_c. Если после полета метеора остался след, то по часам или секундомеру отмечают время его видимости невооруженным глазом, с точностью до 1 *сек.*

13. *Плотность следа* n_c представляет собой качественную оценку плотности светящегося вещества следа и оценивается в баллах. Яркий плотный след обозначается баллом 5; редкий полупрозрачный, размытый след — баллом 1, остальные баллы — промежуточные.

Опытные наблюдатели отмечают также положение метеора в поле зрения глаз по «правилу циферблата». От положения метеора в поле зрения зависят некоторые тонкие эффекты видимости метеора. Запись ведется, например, так: X — 35°. Это означает, что метеор замечен в левом верхнем углу поля зрения

(«10 часов») на расстоянии 35° от центра. Запись ведется вслепую и имеет примерно такой вид (данные записаны в том порядке, в котором излагались выше):

$$\text{№ } 36;\quad 23^h03^m;\quad 4°\beta\,\mathrm{Cas}\rightarrow\delta\,\mathrm{Cep}\ 1°;\quad \lambda 18°;\quad \omega 4;\quad \tau 0{,}9;$$
$$m\,0{,}5;\quad c\,3;\quad o\,5;\quad 4/5;\quad n\,5;\quad d\,2';\quad \tau_c 10;\quad n_c 4;\quad \mathrm{IX}-45°.$$

В ближайшее же время после наблюдений записи надо расшифровать, метеоры нанести на карту и составить таблицу наблюдений метеоров, где, помимо общих данных, должны быть указаны поправки часов, время начала и конца наблюдений, эпоха, к которой относятся координаты.

Журнал наблюдений по программе-максимум

(общие сведения о наблюдениях)

№	T	Начало		Конец		λ	ω	τ	m	c	o	M	n	d	τ_c	n_c	Примечания
		α	δ	α	δ												

Эта таблица вместе с картой составляет наблюдательный материал и подлежит обработке.

Наблюдения телескопических метеоров. Метеоры слабее 6-й звездной величины, которые можно наблюдать только с помощью оптических средств, получили название телескопических (*телеметеоров*). Необходимо предупредить начинающих наблюдателей, что наблюдения их больше, чем какие-либо другие, требуют терпения и настойчивости.

Инструмент для наблюдений телеметеоров должен иметь достаточно большое поле зрения и большую светосилу. Если D — диаметр объектива, то наиболее рациональное увеличение равно $W=\frac{D\ мм}{6{,}5}$. Хорошими инструментами для наблюдения телеметеоров являются бинокулярные трубы Цейса ($D = 80$ *мм*), кометоискатели и трубы АТ-1, а также полевые бинокли с увеличением в шесть и более раз.

Звездные карты для наблюдений выбираются в зависимости от инструмента так, чтобы масштаб их был в соответствии с реальным масштабом звездного неба, наблюдаемого в инструмент, или немногим больше. Большой «Звездный атлас» А. А. Михайлова, изд. 1969 г. (масштаб $1° = 6$ *мм*), является удобным при наблюдении с биноклями 6×30 *мм*. Для бинокуляра Цейса применимы звездные карты «Атласа неба» Бечваржа.

Основные проблемы, стоящие перед наблюдателями телеметеоров, такие:

1) *уточнение радиантов некоторых больших метеорных потоков по присутствующим в них телеметеорам;*

2) *определение самостоятельных телеметеорных радиантов, не связанных с большими потоками, и распределение их по небу*;

3) *определение высот телеметеоров*;

4) *определение численности телеметеоров и ее изменения в течение суток, года и на различных участках небесной сферы.*

В первом случае выбирается область в 3—5° от действующего радианта и наблюдатель держит эту область в поле зрения в течение всего периода наблюдений. Опыт показал, что наблюдать нужно не менее трех-четырех часов в одну ночь. Время действия радианта определяется как середина интервала наблюдений первого и последнего метеоров в сотых долях суток по мировому времени, с указанием эпохи, к которой отнесены координаты радианта. Во втором случае выбирается какая-либо область неба не ниже $z = 60—70°$. Область зенита является в этом смысле самой удобной. Наблюдатель располагается в лежачем положении с укрепленным на штативе биноклем или бинокуляром.

Следует особо обратить внимание на слабую изученность радиантов южного неба.

Программа исследования численности телеметеоров должна состоять из двух взаимосвязанных разделов: а) *наблюдения телеметеоров в зенитной области,* по три часа в ночь, симметрично относительно местной полуночи с неподвижным инструментом и б) *наблюдения в северной полярной области*, имеющие целью выяснить зависимость численности телеметеоров от широты места наблюдения. При счете телеметеоров строго фиксируются перерывы и чистое время наблюдений. В журнале отмечается момент полета (до 1 минуты), блеск (до $0^m,2—0^m,5$), цвет, позиционный угол P, положение относительно поля зрения и другие характеристики — по мере возможности.

В результате наблюдений получают видимые часовые числа телеметеоров для каждой звездной величины. Их необходимо исправить за коэффициент замечаемости и эффект бокового зрения. Если имеется группа наблюдателей в 3—4 человека, то можно организовать многократный счет телеметеоров. Методика и возможности в принципе те же, что и для обычных метеоров.

Попутно с вопросами численности решаются и другие задачи, например изменение часовых чисел телеметеоров в течение суток, года, т. е. суточная и годичная вариации. Наблюдения в зенитной области (где азимуты направлений полета получаются в чистом виде) дают возможность установить преобладающее направление движения телеметеоров, что очень важно.

Наблюдения высот должны вестись с концов базиса однотипными инструментами, оптические оси которых наклоняются навстречу друг другу на величину параллактического смещения, чтобы в поле зрения попали общие метеоры. Обозреваемая

область пространства, его размеры и высота сильно зависят от размеров базиса (рис. 151). Необходимы определения высот телеметеоров на базисе $b = 1000—3000$ *м* в зенитной области. Коротких базисов применять не надо, так как искомый параллакс делается сравнимым с величиной ошибки нанесения метеора на карту, например, при 12-кратном увеличении она равна $\pm 5'$.

Для исследования личных ошибок необходимы параллельные наблюдения несколькими наблюдателями одной и той же области неба с однотипными инструментами.

Журнал наблюдений телеметеоров

(общие сведения)

1. Дата: 1957 г. 17—18. VII.
2. Время: начало 21^h30^m, конец 0^h30^m (декретное время).
3. Перерывы: $23^h15^m—23^h30^m$.
4. Предельная видимость звезд: 11^m.

№	T	m	τ	c	o	ω	λ	P	M	$\pm$	$\alpha_н$	$\delta_н$	$\alpha_к$	$\delta_к$	n_c	τ_c	λ_c	Примечания

Характеристики c, ω, o, n_c оцениваются в баллах шкал, приведенных выше. Момент полета фиксируется в случае базисных наблюдений до 0,5 *мин*; для задач, не связанных с положением метеора, достаточна точность в 1 *минуту*; блеск желательно определять с точностью $0^m,5$. Особое внимание нужно уделить оценкам продолжительности полета τ, так как телеметеоры имеют $\tau \approx 0,2—0,3$ *сек*. Ошибка даже в 0,1 *сек* сильно искажает скорость.

Длина λ определяется в десятых долях диаметра поля зрения, а затем переводится в градусы. Позиционный угол P отсчитывается от точки севера по часовой стрелке по «правилу циферблата», при обработке угол переводится в градусы. При этом надо учитывать, прямое, обратное или зеркальное изображение дает труба. В графу «Примечания» вносятся все особенности данного метеора (его форма, след, изменения блеска, скорости, обстоятельства появления и исчезновения и т. д.).

Во время наблюдений запись ведется в темноте на листе бумаги, свернутом в узкую полоску. При этом наблюдатель не отводит глаз от инструмента (за исключением времени занесения телеметеора на карту). Можно также диктовать все данные секретарю.

На следующий день проводится первичная обработка наблюдений, заключающаяся в оформлении каталога телеметеоров. Телеметеоры заносятся на звездную карту, снимаются координаты

начала ($\alpha_н$, $\delta_н$) и конца пути ($\alpha_к$, $\delta_к$). Если выявлен радиант, то следует его определить сразу же в день наблюдений. Моменты времени в журнале наблюдений записываются уже с учетом поправок часов.

В случае базисных наблюдений высоты вычисляются по формуле

$$H = b \operatorname{cosec} \pi \cos z_1 \sin \gamma_2 = b \operatorname{cosec} \pi \cos z_2 \sin \gamma_1,$$

где b — длина базиса; π — параллакс метеора; z_1 и z_2 — зенитное расстояние метеора в пунктах A и B; γ_1 и γ_2 — углы между

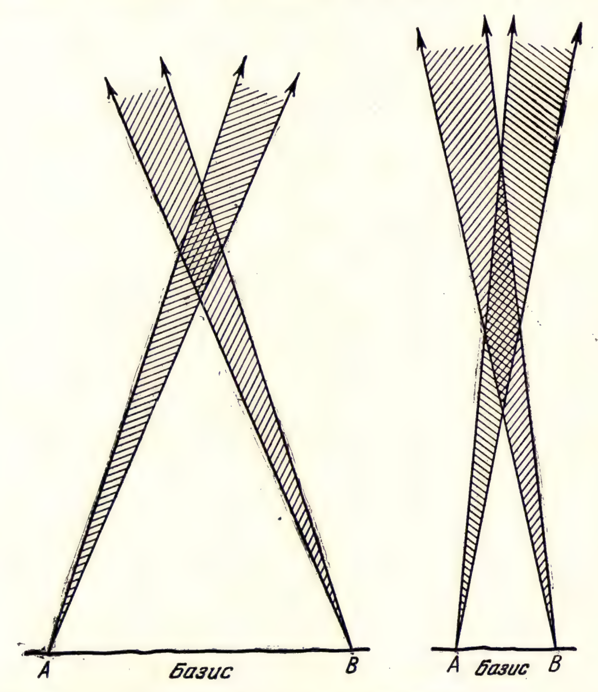


Рис. 151. Область перекрытия при различных базисах и углах скрещивания.

направлением базиса и направлениями на метеор соответственно в первом и во втором случаях. Второе равенство в формуле служит для контроля.

Наблюдения дрейфа метеорных следов. При полете ярких метеоров в атмосфере иногда остается светящийся след, состоящий из ионизованных газов. Смещение — *дрейф следа* — происходит под действием ветров в стратосфере и позволяет изучить их направление и скорость.

Метеорные следы можно наблюдать в любые светосильные трубы, имеющие большое (несколько градусов) поле зрения и небольшое (около 10 раз) увеличение: 8-кратный полевой бинокль,

бинокуляр «Асемби», трубы АТ-1 и т. п. Предназначенная для наблюдений следов труба должна быть установлена на прочном, удобном азимутальном штативе.

Техника наблюдений состоит в следующем. В момент пролета метеоров наблюдатель замечает время и ищет след, начиная с наиболее яркой, обычно конечной точки. Это надо осуществить за 5—8 *сек*. Как только след найден, наблюдатель осматривает его, замечает какой-нибудь «узелок», ставит его в центр поля зрения и начинает следить за перемещением и изменением формы следа. Одновременно наблюдатель или его помощник должен заметить точку неба, на которую наведен инструмент. Это можно сделать двумя способами: сразу отметив азимут и зенитное расстояние (для этого инструмент должен быть снабжен кругами и отнивелирован) или запомнив звезды, видимые в поле зрения трубы.

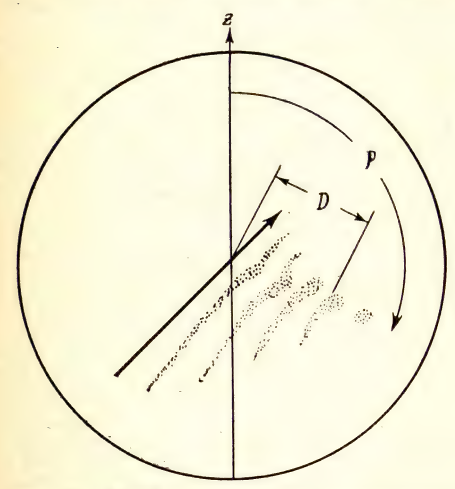


Рис. 152. Дрейф следа метеора относительно поля зрения трубы.

Опытные наблюдатели, хорошо ориентирующиеся в звездном небе, регистрируют дрейф следа, зарисовывая его через 20—25 *сек* на звездной карте («Звездного атласа» А. А. Михайлова или «Атласа неба» Бечваржа). Однако операции со звездной картой в момент наблюдения требуют света, что отрицательно сказывается на зрении.

Рациональнее отмечать положение следа относительно центра поля зрения инструмента (рис. 152). Расстояние следа от центра *D* выражается в десятых долях поля зрения, а положение определяется позиционным углом *P*, который отсчитывается от вертикала центра поля зрения от 0 до 360° по часовой стрелке.

Наблюдения дрейфа следов метеоров

(общие сведения)

Момент	*m*	Поток	Положения центра поля зрения		*P*	*D*	Ширина следа	m_s	Примечания
$1^h28^m00^s$	−2	Персеиды	2^h33^m	+54°	250°	0,0	20′	5	«Веретено»
10					250	0,2	25	5	
25					250	0,4	30	4	

К записям прикладываются зарисовки следа, если они сделаны; в примечаниях указывается типичная форма следа: «полоска», «веретено», «сгусток», «кольцо». Особо отмечаются турбулентные явления, резкие изгибы и изменения направления движения. Время каждой отметки положения следа регистрируется по секундомеру, который был пущен в момент пролета метеора, с точностью до 1 *сек.* Наблюдения продолжаются до момента исчезновения следа. Иногда трубу приходится подвинуть за следом, строго отметив, на какую величину и в каком направлении она сдвинута.

Методика вычисления параметров дрейфа излагается во многих руководствах.

Особую ценность имеют наблюдения следов одновременно с базисным фотографированием. Фотографический метод с высокой точностью дает положение и высоты точек траектории метеора, к которой затем можно будет привязать наблюдения следов.

Фотографирование метеоров. Метеор — очень быстро движущийся объект. Каждая его точка экспонируется фактически в тысячные доли секунды. Для фотографирования метеоров следует применять самые светосильные камеры (с относительным отверстием D/F более 1 : 3), самые высокочувствительные фотопленки (более 250 ГОСТ) и наиболее энергичные проявители. Применять объективы от малоформатных фотокамер с фокусным расстоянием около 50 *мм* типа Юпитер-8 нежелательно. Наиболее целесообразны фокусные расстояния около 10—15 *см*. Для того чтобы сравнить достоинства объективов, можно пользоваться индексом эффективности фотокамеры для метеоров $\frac{D^2}{F}$, где D — диаметр отверстия, а F — фокусное расстояние объектива. При прочих равных условиях лучше тот объектив, у которого индекс больше. Кроме того, объектив должен быть достаточно широкоугольным, с полем не менее чем 30×30 градусов.

В метеорной практике применяются фотокамеры с объективами Ксенон, Аэро-Эктар, Уран-9, любительские камеры типа «Любитель» и т. п.

Камера должна иметь прочные винты крепления, чтобы исключить возможность перемещения во время экспозиции. Фотокамера обязательно снабжена противоросником, который предохраняет от рассеянного света и от росы (рис. 153). При сильной влажности воздуха объективы запотевают. Чтобы этого не было, объектив подогревают. Система подогрева осуществляется в виде нескольких тонких параллельных проволочек, натянутых перед линзами объектива, по которым пускается низковольтный ток. Особое внимание следует уделить фокусировке камер: от этого зависит предельная величина метеора. Обработка негативных пленок (проявление, фиксирование и т. д.) производится обычным порядком.

Практика показывает, что с хорошими фотоматериалами один метеор можно заснять примерно за 5 часов экспозиции.

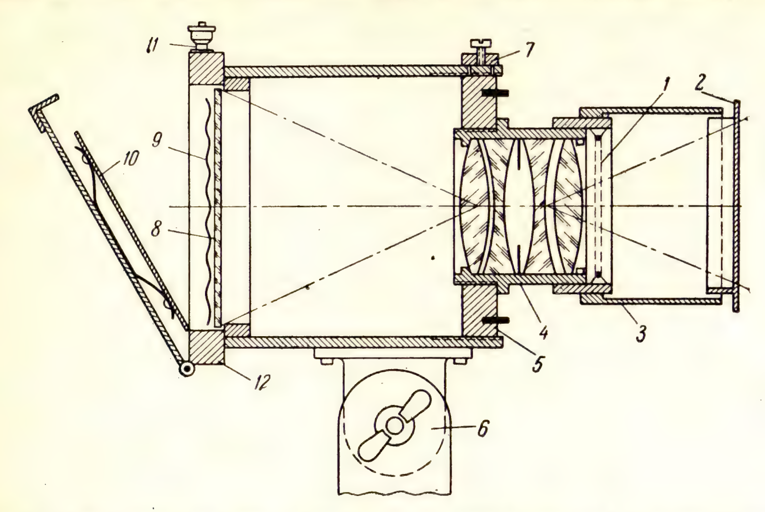


Рис. 153. Схема устройства камеры для фотографирования метеоров. 1 — провода подогрева, 2 — крышка, 3 — противоросник, 4 — объектив, 5 — резьба фокусировки; 6 — винт крепления; 7 — стопор, 8 — прижимное стекло, 9 — фотопленка, 10 — прижимная пластинка; 11 — защелка крышки кассеты, 12 — корпус кассеты.

Чтобы увеличить количество сфотографированных метеоров, фотографирование ведут одновременно на нескольких камерах, объединенных в так называемый *метеорный патруль*, устройство которого ясно из рис. 154. В патруле может быть до шести камер. При большем количестве (если камеры не автоматизированы) обслуживание их становится обременительным. Такой же патруль устанавливается и на базисном пункте. Патруль из четырех — шести камер могут обслуживать два наблюдателя.

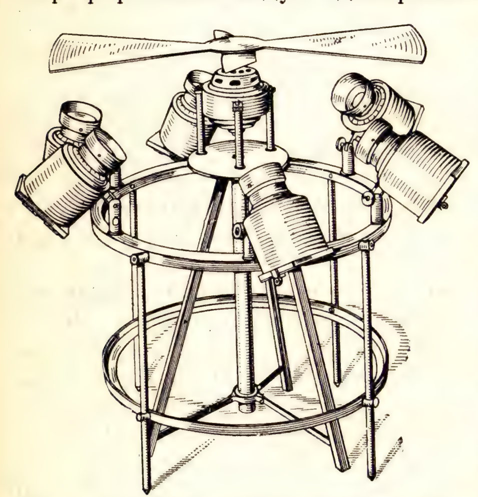


Рис. 154. Устройство фотографического метеорного патруля.

Чтобы определить скорость метеора, фотографирование производится через *обтюратор* (рис. 155), т. е. вращающийся перед объективом сектор. Метеор при этом получается с перерывами (рис. 156). Скорость вращения и количество лопастей должны быть такими, чтобы обтюратор

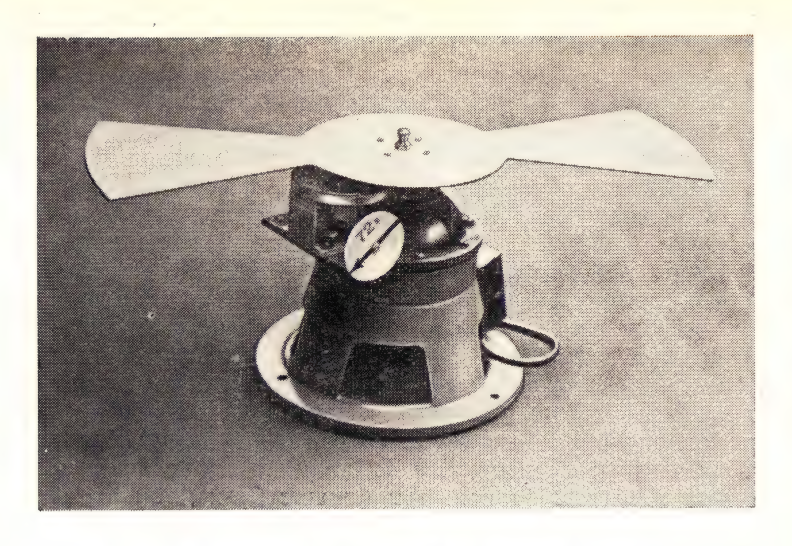


Рис. 155. Обтюратор со счетчиком для контроля оборотов.

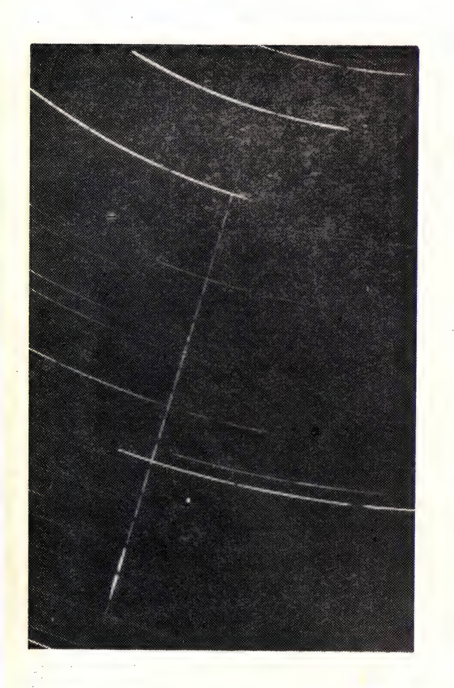




Рис. 156. Базисная фотография метеора. (Симферопольская метеорная станция).

давал 50—75 перерывов в секунду. Важнейшей задачей при работе обтюратора является надежный контроль числа оборотов и постоянства скорости вращения. Постоянство скорости достигается поддерживанием постоянства напряжения, например, стабилизатором напряжения. Измерение числа оборотов можно осуществить разными способами. На вал обтюратора надевается ротор маленького генератора; в обмотке генератора возникает переменный ток, частота которого измеряется промышленным измерителем частоты. Для контроля оборотов применяется также принцип стробоскопического освещения. Подобного типа стробоскоп легко изготовить и самостоятельно. Наиболее простым и надежным прибором является счетчик оборотов, присоединенный к валу обтюратора через 50—60-кратный редуктор (рис. 155). Со счетчика время от времени снимаются показания. Частота перерывов должна быть известна с точностью до 0,5%.

Для определения высоты метеоров необходимо фотографировать их из двух пунктов, A и B. Точность определения высоты зависит от величины базиса: чем больше базис, тем больше параллактический угол π. Этот угол входит в формулу определения высоты точек метеора. Базис должен быть не менее 16 *км*; лучше иметь базис, равный 20—25 *км*, при этом π равняется нескольким градусам. Важную роль играет направление базиса; выгоднее всего, когда метеоры летят перпендикулярно к базису. Один базис в этом смысле не может быть пригодным для наблюдения всех метеорных потоков, и возникает необходимость иметь несколько базисов.

Для того чтобы базисные снимки метеоров можно было обработать, необходимо знать о базисе следующее:

1) географические координаты: широту φ и долготу λ для обоих пунктов A и B с точностью до 2—3″;

2) высоты над уровнем моря H_A, H_B пунктов A и B;

3) азимут a_b и зенитное расстояние z_b направления AB и направления BA с точностью до 1′;

4) длину базиса с точностью до 0,1%.

Метеорный патруль может иметь переносную монтировку. Однако при систематических наблюдениях возникает необходимость в специальном павильоне. На рис. 157 показана схема простейшего павильона с откатывающейся крышей и небольшим подсобным помещением. Обтюратор и фотокамеры устанавливаются на разных фундаментах, чтобы избежать передачи вибрации. Камеры с обтюратором несколько приподнимаются над уровнем почвы, что предохраняет их от росы.

Организация фотографических наблюдений складывается из следующих мероприятий.

Согласовываются направления камер, установленных на пунктах A и B, чтобы поля корреспондирующих камер покрывали одну и ту же площадь на высоте 100 *км*, иначе парных фотографий не получится. Заметим, что камеры лучше направлять не в

зенит, а наклонно, тогда площадь фотографируемого метеорного слоя будет больше. Согласовываются моменты начал и концов и продолжительность экспозиций, производящихся на пунктах A и B. Обычно одна пленка экспонируется 1—2 часа, в зависимости от яркости ночного неба. Более длительная выдержка вызывает вуаль. За ночь можно сделать 3—4 экспозиции.

Во время экспозиции через каждые 20—30 минут камеры перекрываются на 20—30 *сек*, а моменты начала и конца каждого перерыва тщательно регистрируются по часам с точностью до 1 *сек*. При этом на фотографии на дугах звезд также получаются перерывы (см. рис. 156). Они служат опорными точками

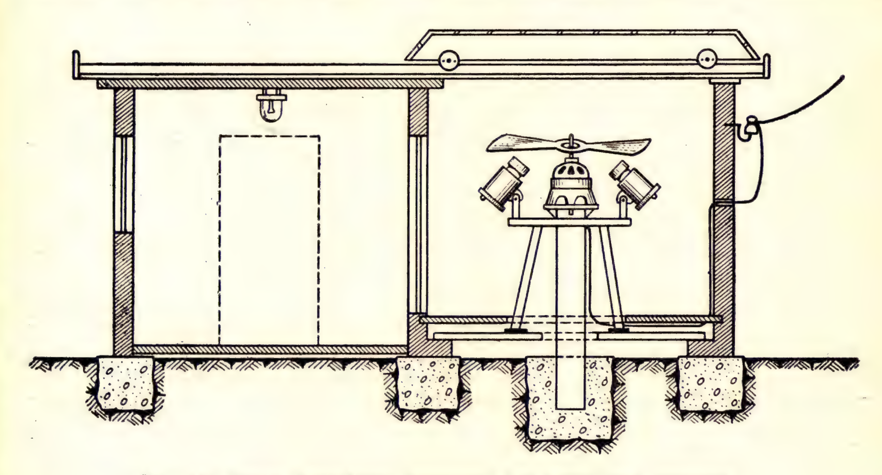


Рис. 157. Схема устройства павильона для метеорного патруля.

при измерении негативов. Перекрывать надо сразу все камеры. Это делается листом фанеры или специальными затворами.

Важнейшим при фотографировании метеоров является определение момента пролета метеора. Если момент пролета неизвестен, то из фотографии нельзя будет получать положение метеора в экваториальной системе координат (α, δ), найти радиант и вычислить орбиту (однако высоты в этом случае определять можно). Момент T регистрируется наблюдателем, который непрерывно контролирует во время экспозиции фотографируемую область, отмечая момент и приблизительное положение всех ярких ($m < 2$) метеоров и их звездную величину. Если камер много, контролируют несколько человек.

На обтюраторном пункте в начале и конце экспозиции проверяется тем или иным способом скорость вращения обтюратора и результаты записываются.

Негативы, которых при работе патруля получается много, должны иметь четкую маркировку, во избежание путаницы при обработке. Мы рекомендуем на фотопленке с краю перед ее

закладкой в камеру делать простым мягким карандашом следующие записи: 1) пункт *A* или *B*, 2) дата ночи наблюдения через дробь, 3) номер экспозиции за ночь, 4) номер камеры. Примерно так:

A 16/17 III 4.

После проявления и сушки на негативе тушью делается более подробная запись со ссылкой на журнал наблюдений. Журнал фотографирования, помимо общих сведений о наблюдениях, должен содержать следующие сведения:

Журнал фотографирования метеоров, пункт *A*

	Перерывы:
Дата 10 августа 1969 г.	1) от $3^h00^m00^s$ до $3^h00^m30^s$
Экспозиция № 4	2) от 3 29 00 до 3 29 30
Начало $2^h30^m00^s$	3) от 4 01 30 до 4 02 00
Конец $4^h31^m30^s$ (поправка часов 45^s)	4) от.................до................

Скорость обтюратора: 2^h30^m—945 *об/мин*; 3^h00^m—950 *об/мин*.

Пролетевшие в области яркие метеоры:

Момент	Зв. величина	Созвездие	Камера №	Примечания
$3^h24^m17^s$	$-2^m,5$	Б. Медведица	3	Вспышка в конце

Одним из видов фотографических наблюдений метеоров является получение их спектров. Спектр метеора получают с помощью объективной призмы, укрепленной перед объективом камеры. Одновременно с ним получаются спектры звезд, которые затем используются как спектры сравнения. Для спектрографирования метеоров применяются призмы с преломляющими углами от 10 до 45°, так как с большой дисперсией спектры метеоров все равно получить нельзя ввиду малой яркости и длительности.

Существенным при спектрографировании является ориентировка призмы. Наилучший спектр получится тогда, когда метеор пролетит параллельно преломляющему ребру призмы, тогда направление дисперсии будет перпендикулярно к линии полета метеора. Следовательно, ребро призмы надо располагать параллельно направлению на радиант. Однако при этом надо позаботиться также и о том, чтобы дисперсия была хотя бы приблизительно перпендикулярна к суточным параллелям звезд, чтобы и спектры звезд получились достаточно хорошими (подробнее см. § 20, гл. IV).

Некоторые термины и понятия метеорной астрономии. Метеоры движутся в атмосфере по практически прямолинейным траекториям Вследствие сопротивления воздуха скорость метеора v уменьшается от *заатмосферной* v_∞ до

некоторой конечной. Отрицательное ускорение j называется *торможением*. Направление, обратное вектору скорости, или точка пересечения обратного продолжения траектории с небесной сферой называется *радиантом*. Из наблюдений получают горизонтальные или экваториальные (A_R, z_R), (α_R, δ_R) координаты видимого радианта R'. На его положение оказывает влияние вращение Земли, в результате чего видимый радиант оказывается смещенным к востоку (суточная аберрация) на угол

$$\theta^\circ = \frac{26^\circ{,}62}{v_\infty \text{ км/сек}} \cos\varphi \sin\gamma,$$

где γ — угол между радиантом и точкой запада, φ — широта.

Притяжение Земли увеличивает скорость *метеорного тела* и несколько искривляет его орбиту. Неискаженная притяжением скорость встречи с Землей называется *геоцентрической скоростью* v_g. Она меньше, чем v_∞:

$$v_g^2 = v_\infty^2 - (11{,}10 \text{ км/сек})^2.$$

Искривление выражается в том, что видимый радиант смещается к зениту на угол Δz, называемый *зенитным притяжением*:

$$\operatorname{tg} \frac{\Delta z}{2} = \frac{v_\infty - v_g}{v_\infty + v_g} \operatorname{tg} \frac{z}{2}.$$

Видимый радиант, исправленный за суточную аберрацию и зенитное притяжение, носит название *исправленного* или *истинного радианта* (геоцентрического) R.

Гелиоцентрическая скорость метеора v_h представляет собой векторную сумму *орбитальной скорости* Земли v_t и геоцентрической скорости метеора:

$$\boldsymbol{v}_h = \boldsymbol{v}_t + \boldsymbol{v}_g.$$

Если r — радиус-вектор Земли (выраженный в астрономических единицах), то $v_t = 29{,}80\ r^{-1}$ *км/сек*. Точка A, куда направлена скорость Земли, называется *апексом*. Она лежит на эклиптике и имеет долготу, примерно на 90° меньшую, чем Солнце. Если угол между v_t и v_h меньше 90°, то метеор — *встречный* или *догоняемый*, если больше, то *догоняющий*.

Точки траектории метеора, в которых он появился и исчез, называются точками *появления* и *исчезновения*. Они характеризуются высотами появления и исчезновения H_1 и H_2. Отношения H_1/H_2 называются *относительными высотами* появления и исчезновения. Угловое расстояние на небесной сфере между этими точками является *угловой длиной* метеора λ. Угловое удаление некоторой точки метеора от радианта называется *элонгацией от радианта* ψ. При прочих равных условиях метеоры с большей элонгацией бывают более длинные и обладают большей *угловой скоростью* ω. Метеор, летящий прямо на наблюдателя, называется *стационарным*.

Блеск метеора m оценивается в звездных величинах. Из теории метеорных явлений следует, что при наблюдениях за блеск надо принимать *максимальную яркость* метеора. Абсолютной звездной величиной метеора называется такой блеск, какой он имел бы на расстоянии 100 *км* без поглощения света в атмосфере:

$$m = m' - 5 \lg r + 10 - k \sec z,$$

где m' — видимая, m — абсолютная величины, r — расстояние (*наклонная дальность*), z — зенитное расстояние метеора, $k \cong 0{,}2$ — величина, зависящая от прозрачности атмосферы. Если блеск метеора определяется по близлежащим звездам, то поправку $k \sec z$ вводить не надо. Восприятие света метеора зависит от его скорости. Например, нельзя непосредственно приравнивать яркости изображений метеора и звезд на фотопластинке. Считается, что ослабление изображения движущегося объекта (выраженное в звездных величинах) пропорционально логарифму отношения угловых скоростей звезды ω_*

и метеора ω, т. е.

$$m - m_* = -K \lg \frac{\omega}{\omega_*},$$

где m_* и m — величины звезды и метеора, а K — некоторая константа. Теория дает следующую приближенную зависимость между силой света метеора I, массой M и скоростью метеорного тела v:

$$I = cMv^3 \cos z_R.$$

Она используется для оценок масс метеорных тел.

Рой метеорных частиц, движущихся в Солнечной системе примерно по одинаковым орбитам, образует *метеорный поток.* Вследствие перспективы движущиеся по параллельным траекториям поточные метеоры кажутся вылетающими из одной точки — *радианта потока;* фактически наблюдается некоторая площадь радиации. Вследствие перемещения апекса радиант потока несколько перемещается по небу. Одиночные или входящие в очень бедные потоки метеорные частицы вызывают *спорадические метеоры* и образуют так называемый *метеорный фон.* Если n — число поточных, а n' — число спорадических метеоров, то отношение

$$i = \frac{n}{n + n'} \, 100\,\%$$

называется *относительной активностью* данного потока.

Пусть на некоторой площади метеорного слоя S (например, 10 000 *км*²) за интервал *чистого времени* ΔT замечено N метеоров, причем N исправлено за коэффициент внимания и другие факторы. Тогда

$$N_h = \frac{N}{\Delta T_{\text{часов}}}$$

называется *часовым числом* метеоров. Для потоков с известной v_g можно подсчитать *пространственную плотность* ρ, т. е. число частиц в единице объема:

$$\rho = \frac{N}{\Delta T v_\infty S \cos z_R} \left[\frac{\textit{частиц} \cdot \textit{сек}}{\textit{сек} \cdot \textit{км}^2 \cdot \textit{км}}\right].$$

Закон распределения метеоров по блеску, показывающий количество метеоров данной величины $N(m)$, называется *функцией светимости.* Она имеет приблизительно показательный характер:

$$N(m) = N(0)\, \varkappa^m,$$

В среднем величина $\varkappa = 2{,}5$. Ее можно определять из наблюдений по формуле

$$\varkappa = \frac{N(m+1)}{N(m)},$$

если через $N(m)$ обозначить число метеоров от $m - 1/2$ до $m + 1/2$ звездной величины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астапович И. С., Метеорные явления в атмосфере Земли, Физматгиз, 1958.
2. Дубяго А. Д., Определение орбит, Гостехиздат, 1949.
3. Катасев Л. А., Исследование метеоров в атмосфере Земли фотографическим методом, Гидрометеоиздат, 1966.
4. Мак-Кинли Д., Методы метеорной астрономии, «Мир», 1964.
5. Мартыненко В. В., Задачи и методы любительских наблюдений метеоров, «Наука», 1967.
6. Зоткин И. Т., Инструкция для наблюдений метеоров, «Наука», 1972.

§ 7. Инструкция для наблюдений падений, поисков и сбора метеоритов

Организация в СССР сбора и изучения метеоритов. Внезапные и притом в неожиданных местах падения метеоритов не позволяют специалистам-метеоритологам организовать и производить систематические наблюдения их падений. Поэтому им приходится прибегать к помощи случайных очевидцев. Однако подробные и добросовестно составленные описания наблюдавшихся явлений, сделанные даже случайными очевидцами, могут иметь научное значение. Если по одному и тому же падению метеорита удастся собрать большое число описаний, сделанных очевидцами в разных населенных пунктах, то после обработки оказывается возможным получить достаточно надежные данные об условиях падения метеорита. Долгом каждого сознательного человека является сообщить ученым подробные сведения о наблюдавшихся им явлениях при падении метеорита, если он явился случайным очевидцем этих явлений.

Метеориты представляют огромную ценность для науки. Они тщательно изучаются и затем хранятся в специальных минералогических музеях нашей страны.

Центральным научным учреждением, специально занимающимся сбором, изучением и хранением метеоритов, в Советском Союзе является Комитет по метеоритам Академии наук СССР. В случае падения и находки метеорита наблюдатели телеграфно извещают об этом Комитет, который направляет в район падения своих научных сотрудников. Здесь они производят всестороннее обследование места и обстановки падения, опрашивают очевидцев падения и организуют поиски и сбор метеоритов.

Каждый вновь упавший или случайно найденный метеорит подлежит передаче Комитету по метеоритам Академии наук СССР. За передаваемые в Комитет метеориты лицам, обнаружившим их, выдаются денежные премии как мера поощрения за оказание содействия науке.

Наблюдения болидов. Обычно кажется, что огненный шар (болид) пролетел совсем недалеко от наблюдателя, и поэтому каждый думает, что метеорит упал где-то совсем близко от него, в каких-нибудь сотнях метров. Однако такое впечатление является ложным. Вследствие большой яркости болиды часто бывают видны не только ночью, но и днем, при безоблачном небе и ярком солнечном освещении, на расстоянии сотен километров от места падения метеорита. Точно так же на расстоянии нескольких сотен километров наблюдается освещение местности от болида ночью, а также бывают слышны звуки: удары, грохот и т. д. Поэтому часто предпринимаемые очевидцами поиски упавшего метеорита в окрестностях места наблюдения бывают безрезультатными, а попадающиеся различные камни или куски железа, которые они принимают за метеориты, в

действительности оказываются обыкновенными камнями, шлаками и тому подобными земными образованиями.

Наиболее часто очевидцы впадают в ошибку в тех случаях, когда болид, по их наблюдениям, исчезает у самого горизонта. Им кажется, что именно здесь, в направлении исчезновения болида, и упал метеорит. Между тем в действительности исчезновение болида у горизонта свидетельствует о том, что данный пункт наблюдений расположен далеко от места падения метеорита — на окраине области видимости световых явлений, связанных с падением, часто отстоящей от места падения на расстоянии сотен километров.

Таким образом, если не было замечено самое падение метеорита на землю или не были слышны определенные характерные звуки, вызываемые падающим метеоритом при его приближении к земле (свист, жужжание, гул и «клевок» — удар метеорита о грунт), то не имеет смысла искать упавший метеорит. Определить место возможного падения метеорита можно только на основании собранных из разных пунктов показаний очевидцев о направлении движения болида и о положении его видимой траектории на небесной сфере. Поэтому очень важно после полета яркого болида провести массовый опрос очевидцев о наблюдавшихся ими явлениях. Особенно важно при этом определить, по возможности точнее, положение на небесной сфере облачка в области задержки — более темного, иногда черного, сгущения в конечной (нижней) части пылевого следа, оставленного болидом на небесном своде. Это облачко бывает расположено вблизи зенита места падения метеорита, и следовательно, по этому облачку можно приблизительно определить место падения метеорита.

Однако нужно иметь в виду, что далеко не каждый яркий болид оканчивается падением метеорита. Тем не менее научное значение всестороннего изучения болидов не зависит от того, последовало после болида падение метеорита или нет. Получение надежных данных об условиях движения болидов в земной атмосфере и определение орбит метеорных тел, вызвавших появление болидов, столь же важны и в том случае, если метеорное тело во время движения в атмосфере полностью разрушилось и земной поверхности в виде метеорита не достигло.

Если очевидец заметил или уверенно запомнил только немногие детали явления, то и в таком случае нужно сделать запись того, что наблюдалось. Следует иметь в виду, что даже краткие сведения, в которых указывается только, наблюдались или нет в данном пункте световые явления или были или нет слышны какие-либо звуки, имеют определенное значение. Действительно, если будут получены такие сведения из многих населенных пунктов, расположенных с разных сторон и на разных расстояниях от места падения метеорита, то можно будет определить приближенно границу области распространения свето-

вых и звуковых явлений. По этим же данным в свою очередь можно косвенно судить о направлении и наклоне траектории болида.

Краткое описание болида составляется по следующей схеме:

Краткие сведения о болиде
(указывается число, месяц и год)

1. *Дата и время наблюдения.* Желательно время полета болида или видимости тех или иных световых явлений указать с точностью до минуты. Если же наблюдатель не имел часов, то время указывается приблизительно, причем необходимо сделать об этом оговорку. Время нужно указать местное декретное или московское, оговорив, какое именно время указывается.

2. *Место наблюдения.* Нужно указать название населенного пункта, района и области, где наблюдались явления, а также направление и расстояние в километрах этого пункта по отношению к какому-нибудь крупному населенному пункту (городу, районному центру и т. д.).

3. *Видимость световых явлений.* В описании указывается, наблюдался ли огненный шар (болид) или же было замечено только освещение местности (ночью) или пылевой след на небе (днем).

4. *Звуковые явления.* Нужно указать, были или не были слышны какие-либо звуки, а если возможно, то следует описать их характер, указать число ударов, силу и характер грохота, гула и т. д.

Если очевидец заметил и хорошо запомнил другие какие-либо подробности, то нужно об этом указать в описании. Кроме того, желательно отметить, было ли небо безоблачным, или же частично или полностью покрыто облаками.

Под описанием указывается фамилия, имя и отчество очевидца и его почтовый адрес.

Для детального изучения явлений, наблюдавшихся при полете болида, особенно для определения места возможного выпадения метеорита (если при этом метеорит еще не был найден), а также для определения его атмосферной траектории и вычисления элементов орбиты, необходимо составить насколько возможно полное описание по указанной ниже программе. Однако, если очевидец затрудняется ответить на все вопросы программы, нужно записать ответы только на те вопросы, которые не вызывают у него затруднений.

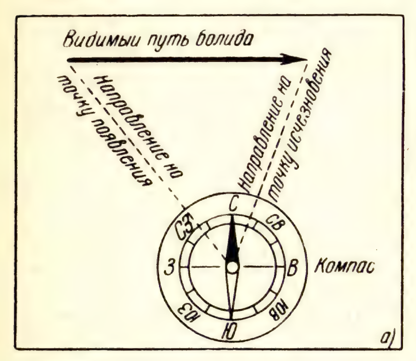
Полное описание болида составляется по следующей схеме.

Наблюдение болида (указывается число, месяц и год)

1. *Дата и момент полета болида.* Момент полета болида желательно указать с точностью до минуты. Необходимо отметить, какими часами пользовался очевидец и их точность.

2. *Место наблюдения.* Нужно указать название населенного пункта, района и области, где наблюдался болид, а также отметить, находился ли очевидец в помещении или же был на улице, чем занимался в этот момент и что привлекло его внимание, когда он заметил болид. Желательно также указать географические координаты пункта наблюдений.

3. *Видимый путь болида.* Для определения видимого пути болида на небесном своде и направления его движения нужно измерить координаты точек появления и исчезновения болида. Для этой цели нужно измерить азимут и угловую высоту этих точек (рис. 158) с помощью компаса или какого-либо иного угломерного прибора (буссоли, теодолита и т. д.). Приблизительно угловую высоту можно определить путем сравнения с видимой высотой Солнца над горизонтом (в момент наблюдения), если болид наблюдался днем. При наблюдении болида ночью для определения угловой высоты точек его видимого пути можно воспользоваться сравнением с положением на небе звезд созвездия Большой Медведицы или других, особенно Полярной звезды. Последняя укажет и направление севера, следовательно, относительно Полярной звезды можно определить и азимут точек пути болида. В лунную ночь угловую высоту точек пути болида можно определить путем сравнения с угловой высотой Луны над горизонтом. Более точно угловую высоту можно измерить при помощи обыкновенного транспортира с подвешенным к его центру грузиком на тонкой нити, как это показано на рис. 158, *б*. Наконец, угловую высоту приближенно можно определить и при помощи пальцев вытянутой руки. «Четверть» на расстоянии вытянутой руки равна примерно 17°.



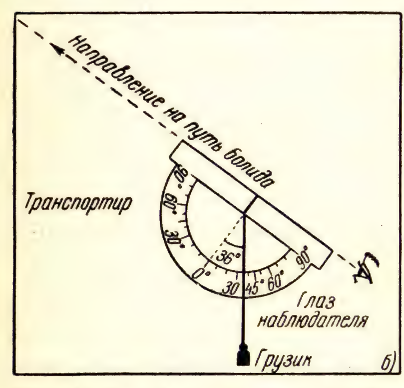


Рис. 158. Способ измерения: *а*) азимута при помощи компаса. *б*) угловой высоты при помощи транспортира.

При помощи транспортира или другого какого-либо угломерного прибора следует также определить угол наклона видимого пути болида на небе относительно горизонта.

Если болид наблюдался ночью при безоблачном небе и наблюдатель имеет звездную карту, то следует хорошо запом-

нить точки появления и исчезновения болида среди звезд и нанести эти точки на звездную карту, соединив их между собой чертой и указав стрелкой направление движения болида (рис. 159). При отсутствии такой карты желательно на глаз сделать схематический рисунок расположения наиболее ярких звезд того участка неба, где пролетел болид, и указать стрелкой путь болида. Желательно также сделать рисунок пути болида на небе и в том случае, когда болид наблюдался днем. В этом случае на рисунке нужно будет указать расположение стран света и зарисовать какие-либо ориентиры (строения, деревья и т. д.).

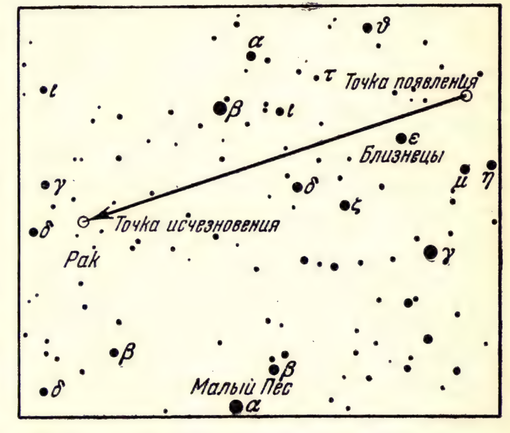


Рис. 159. Путь болида, нанесенный на звездную карту.

После подробного описания видимого пути болида нужно будет отметить, был ли замечен болид в самом начале или же спустя некоторое время после его появления и какая точка его пути принята за начало полета, а также указать, исчез ли болид на виду у очевидца, не долетев до горизонта, или же скрылся за горизонтом или какими-либо строениями, деревьями и т. д.

4. *Продолжительность полета болида.* Как известно, болид пролетает весь свой путь по небу в течение всего лишь нескольких секунд и редко больше. След же, оставляемый болидом на небесном своде в виде дымной полосы, бывает виден в течение многих минут, а иногда и свыше часа. В ответе на данный вопрос нужно указать продолжительность полета болида, а не видимости оставленного им следа. Для определения продолжительности полета полезно применять такой способ. После исчезновения болида очевидец, смотря на часы, повторяет все те действия, которые он успел совершить во время полета болида, например: выбежал из комнаты, успел что-либо сказать и т. д., и по секундной стрелке часов определяет продолжительность явления. Можно определить продолжительность и без часов путем небыстрого счета: раз, два, три и т. д. В описании следует указать, каким способом очевидец определил продолжительность полета болида.

5. *Размеры и яркость болида.* Под размером болида понимается угловой диаметр его, который приблизительно можно определить путем сравнения с полным диском Луны или Солнца, угловой диаметр которых равен 0,5°, или 30′. Если болид был

меньше, то его размеры указываются в долях диска Луны или Солнца. По таким данным впоследствии, когда будет вычислено расстояние в километрах от наблюдателя до болида, можно будет определить и линейный, т. е. выраженный в метрах, диаметр болида. Не следует указывать видимый размер болида в метрах, сантиметрах и т. д., так как непосредственно определить линейный размер болида невозможно. Не следует также сравнивать болид с какими-либо земными предметами, так как и по таким данным также нельзя будет определить линейный размер болида. Всем ведь известно, что чем дальше от наблюдателя расположен какой-либо предмет, тем меньше он будет казаться наблюдателю.

Удобно определить угловой размер болида при помощи сравнения с большим пальцем вытянутой руки, указав при этом, во сколько раз больше или меньше пальца был болид или был равен ему.

Желательно определить и указать в описании отношение длины к ширине или поперечному сечению головы болида. Нужно также определить размер хвоста болида по сравнению с самим болидом, указав, во сколько раз он был больше диска болида.

Оценку яркости болида следует производить также путем сравнения с Солнцем или Луной. В описании следует отметить, слепил ли болид глаза или же на него можно было смотреть свободно.

6. *Форма болида.* При благоприятных обстоятельствах и внимательном наблюдении удается рассмотреть голову болида, которая может иметь шарообразную, каплевидную, овальную или



Рис. 160. Болид, наблюдавшийся при падении метеоритного дождя Кунашак 11 июня 1949 г. в Челябинской области, по рисунку очевидца.

резко вытянутую форму (рис. 160 и 161). Форма головы болида, а также длина и форма его хвоста отчасти зависят от направления движения болида относительно места расположения наблюдателя. Так, например, если болид летел прямо на наблюдателя, т. е. по лучу зрения, то он будет казаться ему шарообразным и неподвижным, как бы повисшим в воздухе наподобие осветительной ракеты. В этом случае у болида совсем не будет видно хвоста, который оказывается закрытым от наблюдателя самим болидом. Наоборот, если болид пролетел в направлении, перпендикулярном по отношению к наблюдателю, то он будет казаться ему вытянутым, а хвост его — наиболее длинным. Таким образом, форма болида и относительная длина его хвоста могут косвенным образом характеризовать направле-

ние движения болида относительно наблюдателя, и эти данные полезно учитывать при обработке всего наблюдательного материала. Поэтому очень желательно как можно точнее и полнее определить и указать в описании форму болида и относительную длину его хвоста.

В описании нужно далее указать, наблюдались ли во время полета болида вспышки и если наблюдались, то на каких участках его пути (в долях длины всего пути, считая от его начала). То же самое нужно указать и в отношении искр, если они наблюдались при полете или дроблении болида. Наконец, нужно указать, исчез ли болид внезапно, как бы мгновенно

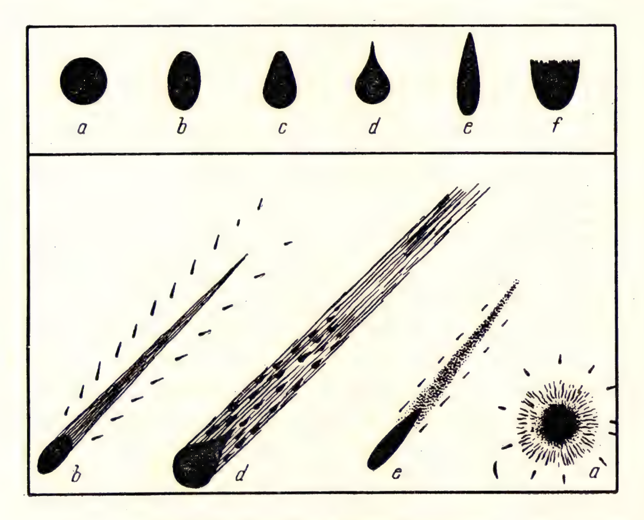


Рис. 161. Типичные формы болидов.

потухнув, или же перед исчезновением он раздробился на части. В последнем случае желательно указать, на сколько частей болид раздробился и — по возможности — размеры отдельных частей по сравнению с самим болидом. Еще желательно определить и указать в описании, сколько времени (секунд или долей секунды) были видны после дробления отдельные части болида, в каком направлении они летели и в какой последовательности исчезали.

7 *Цвет*. Цвет болида определяется путем сравнения с цветом Солнца или Луны (на разных высотах расположения их над горизонтом, имея в виду, что Солнце или Луна при закате становятся красными); можно, далее, сравнивать цвет болида с цветом накала металла при электросварке, с цветом электрической или керосиновой ламп и т. д. Желательно цвет указать отдельно для самого болида и для его хвоста, а также осколков и искр, образовавшихся при дроблении болида.

Нередко внутренняя часть болида (ядро) и наружная (оболочка), а также отдельные части его хвоста имеют различные оттенки; кроме того, цвет болида может изменяться во время полета. Поэтому, если очевидец заметил все такие подробности в окраске болида и его частей, а также изменение цвета болида во время его полета, необходимо обо всем этом сказать в описании.

8. *Освещение местности.* Яркие болиды, пролетающие в ночное время при безоблачном небе, обыкновенно очень сильно освещают местность на сотни километров вокруг своеобразным, как бы мигающим или дрожащим светом. Даже и днем при полете ярких болидов очевидцы, находящиеся в помещениях, нередко замечают возникновение кратковременного блеска или вспышки, а находящиеся на улицах наблюдают появление вторичных (кроме солнечных), быстро поворачивающихся теней от различных предметов.

В описании нужно отметить характер и величину освещенности, сравнив ее, например, с силой освещенности в полнолуние, сумерки и т. д. Если во время ночного полета болида очевидец находился на улице, то желательно определить и указать в описании, на каком расстоянии от него были хорошо видны те или иные предметы, наблюдались ли тени от них и на каком расстоянии предметы различались с трудом; каков был характер освещенности: спокойный, мигающий, дрожащий и т. д.

В редких случаях, например, при полете очень ярких болидов, очевидцы иногда отмечали, что во время полета болида ими ощущалось тепло на лице. Поэтому на такое явление следует обратить внимание, и в случае, если очевидец действительно совершенно явственно ощутил тепловое действие болида, то необходимо это указать.

9. *След болида.* При наблюдениях следа необходимо, прежде всего, определить общую продолжительность его видимости вплоть до полного исчезновения. Одновременно нужно пронаблюдать все изменения формы и окраски следа, а также перемещение его по небесному своду. Обычно след вначале имеет вид совершенно прямолинейной полосы. Однако вскоре он начинает искривляться, растягиваться в стороны и смещаться по небу (рис. 162), постепенно ослабевая. Перед исчезновением след разрывается на части, которые принимают вид отдельных клочьев. В нижней части следа (не всегда в самом конце его) обычно наблюдается темное, иногда черное, сгущение — так называемое облачко в области задержки.

Поскольку след часто бывает виден в течение продолжительного времени и изменения в нем происходят относительно медленно, можно очень тщательно провести наблюдения и составить подробное описание, которое будет иметь большое научное значение.

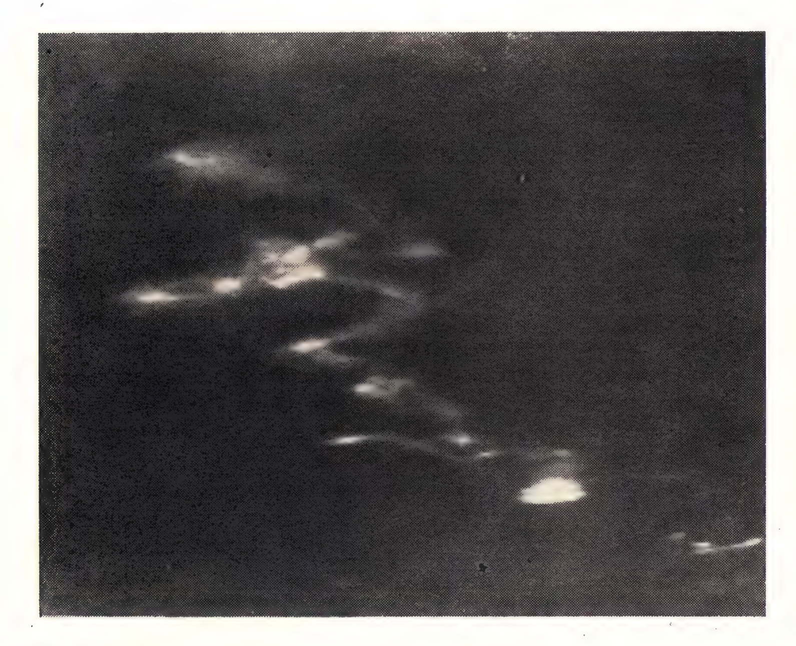


Рис. 162. *а*) След болида, наблюдавшегося 19 октября 1941 г. на Чукотке; *б*) тот же след, спустя несколько минут после полета болида. Фотоснимки Д. Дебабова.

Смещение следа можно определить путем многократных измерений его положения в разные моменты, которые могут быть проделаны при помощи компаса по азимуту и при помощи транспортира по угловой высоте. Такие измерения желательно делать через небольшие промежутки времени, например, через 3—5 минут, отмечая всякий раз момент измерений.

Далее нужно проследить за окраской следа и сделать по возможности подробное описание. Окраска следа обычно быстро изменяется по мере изменения высоты Солнца над горизонтом или глубины погружения его под горизонт.

Особенно внимательно следует пронаблюдать облачко в области задержки и сделать подробное его описание. В описании желательно указать форму облачка и последовательное ее изменение, затем цвет и угловые размеры, а также отметить все другие подробности, если они наблюдались. Очень важно измерить азимут и угловую высоту облачка и указать, наблюдалось ли оно в самом конце следа или же след продолжался еще дальше облачка. В последнем случае нужно указать форму, длину, цвет и последовательные изменения этой части следа. Нужно также тщательно пронаблюдать и описать отдельные облачка, которые могут появиться после исчезновения отдельных частей болида, образовавшихся при его дроблении; такие облачка в виде сгущений могут наблюдаться в разных частях следа и без связи с дроблением болида.

10. *Звуковые явления.* Обычно после яркого болида, по прошествии нескольких минут после того как он исчезнет, до слуха очевидцев доносятся сначала отдельные отрывистые удары, напоминающие взрывы, а следом за ними грохот, треск и гул. Часто можно заметить, что грохот как бы удаляется от очевидца вдоль пути болида в направлении движения его и одновременно в обратном направлении. Объясняется это тем, что до слуха очевидцев звуковые волны доходят, естественно, не одновременно от всех точек траектории метеорного тела: сначала приходят волны от близких к нему участков траектории, а затем от все более удаленных (рис. 163).

При наблюдении звуковых явлений необходимо, прежде всего, определить (по возможности по часам) и указать в описании, через какой промежуток времени в секундах или минутах после исчезновения болида раздался первый удар, а затем число отдельных ударов и через какой промежуток времени они следовали один за другим. Далее нужно определить силу ударов, сравнив, например, с выстрелами из орудий, взрывами бомб, залпами из ружей и т. д., и отметить, который из ударов был наиболее сильным. Нужно также описать характер последующих звуков и общую их продолжительность, отметив по часам момент последних звуков грохота и затем момент прекращения гула.

Очевидцами многих падений метеоритов и полетов ярких болидов неоднократно отмечалась слышимость слабых звуков во время самого полета болида, т. е. раньше того, как раздаются удары. Такие звуки напоминают шуршание, шелест древесных листьев, слабый треск и т. д. По мнению некоторых ученых, эти звуки вызываются электрическими причинами, почему болиды, сопровождающиеся подобными звуками, называются электрофонными. Изучение и окончательное решение вопроса о природе этих звуков имеет исключительно важное научное значение. Поэтому крайне необходимо обратить внимание на слышимость указанных звуков, а в случае их возникновения при

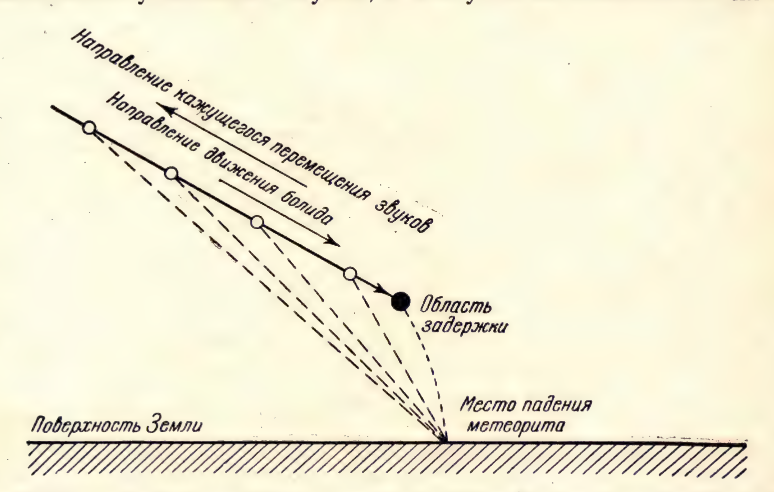


Рис. 163. Распространение звуковых волн от траектории болида. Схематический рисунок.

полете того или иного болида сделать самое подробное их описание.

В конце описания наблюдавшегося болида нужно указать состояние погоды в момент полета болида. Очень желательно приложить сведения о погоде по данным ближайшей гидрометеорологической станции. Наиболее важно знать состояние облачности, температуру, давление, направление и силу ветра.

Под описанием указываются полностью имя, отчество и фамилия очевидца, его род занятий, специальность и почтовый адрес.

Зарисовки и фотографирование. К описанию очень желательно приложить зарисовки болида и его следа, сделанные хотя бы схематически простым карандашом. На таких рисунках нужно показать форму болида и его хвоста для двух-трех разных моментов времени, например: в начале полета, в середине пути и перед исчезновением (в момент дробления, если таковое наблюдалось). Следует знать, что не только цветные рисунки или даже картины, сделанные художником, но и схематические

зарисовки, на которых показаны только контуры, изображающие форму и некоторые другие детали болида, имеют значение.

Особенно желательно сделать серию, например, из пяти-шести рисунков следа болида в разные моменты его видимости. На таких рисунках в первую очередь следует передать форму следа и облачка в области задержки, а также отдельных сгущений, узелков и т. п. образований, наблюдавшихся в разных участках следа. На каждом рисунке обязательно надо указать момент зарисовки.

Исключительно большое научное значение имеет фотографирование. Сфотографировать самый болид вследствие внезапности его появления и кратковременности видимости почти невозможно. Впрочем, может случиться так, что в момент полета болида случайный очевидец имел с собой фотоаппарат, готовый к фотографированию. Может быть, даже он в этот момент что-либо фотографировал. В таком случае нужно немедленно направить фотоаппарат на летящий болид и сделать съемку с моментальной выдержкой (от 1/20 до 1/250 *сек*).

Однако совсем нетрудно получить хорошую серию фотоснимков следа болида, который, как говорилось выше, бывает виден в течение десятков минут, и вполне возможно не торопять подготовить фотоаппарат к фотографированию. Фотографировать следует с одного и того же пункта и так, чтобы на снимках получилось изображение горизонта с какими-либо ориентирами. Для этих ориентиров нужно потом при помощи компаса измерить азимут.

Давать какие-либо конкретные указания относительно выдержек при фотографировании нецелесообразно ввиду различия возможных условий освещения, при которых может наблюдаться след болида. Опытный фотограф, учитывая эти факторы, сам сможет определить приблизительно нужную величину выдержки. Нужно при этом иметь в виду, что даже при значительных ошибках в выдержке снимки могут получиться весьма ценные и могут быть использованы при научной обработке.

При фотографировании следует придерживаться одного простого правила: не жалеть фотопленку и делать возможно большее число снимков при разных выдержках.

Негативы должны быть пронумерованы, а в прилагаемой к ним описи под соответствующим номером негатива нужно указать момент его получения с точностью до минуты, а также азимуты отдельных ориентиров, условия фотографирования (сорт фотопластинок или фотопленки, тип фотоаппарата, продолжительность выдержки), условия проявления (тип проявителя и продолжительность проявления) и в случае надобности сделать разные другие примечания.

Все рисунки и негативы (или непроявленные фотопластинки и фотопленки) нужно приложить к описанию болида и в хорошей упаковке отослать в Комитет по метеоритам Академии

наук СССР по адресу: 117313, Москва, В-313, ул Марии Ульяновой, д. 3, корп. 1.

Наблюдения падений, поиски и сбор метеоритов. Как говорилось выше, облачко в области задержки бывает расположено вблизи зенита места падения метеорита или метеоритного дождя. Отсюда следует, что если после полета болида облачко оказалось расположенным высоко на небе, недалеко от зенита или в самом зените, то, значит, метеориты выпадут где-то недалеко от этого места. Поэтому нужно сейчас же после исчезновения болида особенно внимательно прислушаться к тем звукам, которые последуют вскоре. Падающие после области задержки на землю метеориты сопровождаются свистами, жужжанием, гулом, «уханьем» и, наконец, ударом метеорита о землю, так называемым «клевком». Такие звуки могут быть слышны на расстоянии до 2—3 *км* от места падения метеорита. При дневных падениях с небольшого расстояния можно заметить и самый метеорит, приближающийся к земле в виде черного предмета. От места падения часто разлетаются в стороны комья земли или куски дерна и поднимается вверх пыль.

Таким образом, если облачко было расположено вблизи зенита и если, кроме того, были слышны звуки падающих метеоритов, которые доносятся уже после звуков, вызываемых полетом болида (ударов, грохота и гула), то необходимо организовать поиски упавших метеоритов. Поиски проводятся путем тщательного осмотра местности. Как уже было сказано, метеориты массой в несколько килограммов способны образовать при своем падении небольшие ямки. Только маленькие метеориты, массой в сотни граммов, могут оказаться лежащими на поверхности земли. Однако требуется большое внимание, чтобы заметить небольшой метеорит, имеющий черную поверхность (покрытую корой плавления) и неотличимый с первого взгляда даже на небольшом расстоянии от комьев земли. Еще труднее найти метеорит в траве, кустарниках и т. д.

Так как метеориты чаще всего падают группами или даже метеоритными дождями, после которых можно собрать сотни и тысячи камней, то при находке первого метеорита не следует прерывать поиски. Нужно внимательно осмотреть найденный метеорит. Если окажется, что он имеет неправильную, обломочную форму и, кроме того, его поверхности хотя и покрыты корой плавления, но отличаются неровностями, характерными для свежего раскола и непохожими на типичные регмаглипты (рис. 164 и 165, ср. рис. 166), то можно быть уверенным, что в данном случае выпала группа метеоритов или даже метеоритный дождь. Поэтому нужно еще более внимательно подвергнуть обследованию данную местность на еще большей площади.

Как известно, метеоритные дожди выпадают на площади, имеющей грубо эллиптическую форму и называемой *эллипсом рассеяния.* Эта площадь измеряется десятками и сотнями



Рис. 164. Каменный метеорит Венгерово, массой около 10 *кг*, упавший 11 октября 1950 г. На поверхности метеорита видны типичные регмаглипты.



Рис. 165. Один из индивидуальных экземпляров каменного метеоритного дождя Жовтневый Хутор, выпавшего 9 октября 1938 г. в Донецкой области УССР. На поверхности метеорита второго рода видна характерная шероховатость излома.

квадратных километров. Длина эллипса может иногда простираться на много десятков километров. Последующие находки метеоритов, их размеры и места расположения покажут приблизительно ориентировку на местности эллипса рассеяния. Можно будет приблизительно установить место расположения головной части эллипса, т. е. того участка, где должны выпасть наиболее крупные экземпляры, а затем тыловой, где должны выпасть самые маленькие экземпляры. Следует при этом иметь в виду, что обычно направление большой оси эллипса приблизительно, а иногда и довольно точно, совпадает с направлением проекции



Рис. 166. Каменный метеорит Забродье, массой около 3 *кг*, упавший 22 сентября 1898 г. Хорошо видна ориентированная (конусообразная) форма метеорита и вытянутые регмаглипты.

траектории болида на земную поверхность, т. е. с направлением движения метеорного тела (болида) в земной атмосфере. Облачко в области задержки обычно бывает расположено в зените пункта, находящегося в тыловом конце эллипса. Учитывая все это и руководствуясь первыми находками метеоритов, и следует вести дальнейшие поиски метеоритов.

Если при осмотре первого найденного метеорита окажется, что он имеет ориентированную форму и сглаженные, как бы обкатанные, поверхности, покрытые корой плавления, а на боковых сторонах его видны хорошо выраженные *регмаглипты* (своеобразные углубления, как бы вмятины от пальцев в мягкой глине или пластилине) резко вытянутой формы наподобие желобков (рис. 166), то можно считать, что метеорит выпал в единственном экземпляре и, следовательно, дальнейшие поиски будут бесполезны.

При обнаружении метеорита необходимо прежде, чем поднять его или извлечь из ямы, тщательно обследовать место падения и отметить все замеченные подробности. Если наблюдалось самое падение метеорита на землю и к нему подбежали тотчас же после падения, то нужно, прежде всего, определить на ощупь степень нагретости метеорита. В этом случае нужно установить, можно ли держать руку на метеорите, не отнимая, или же он настолько горяч, что рука не выдерживает прикосновения к метеориту; желательно также сравнить с чем-либо степень нагретости метеорита. Затем нужно определить промежуток времени с момента падения метеорита до полного его остывания.

При обследовании места падения метеорита нужно определить характер местности (луг, пашня, целина, дорога и т. д.), а также тип почвы (черноземная, супесчаная, суглинистая и т. д.). Если будут замечены комья земли или куски дерна, разбросанные вокруг метеоритной ямы, нужно измерить расстояние до наиболее удаленных, установить преимущественное направление разбросанных комьев земли и измерить азимут этого направления относительно ямы, определить общие контуры разброса, размер и приблизительный вес отдельных наиболее крупных кусков земли или дерна и их расположение относительно ямы. Сделанные наблюдения нужно нанести на схематический чертеж, на котором показывается план ямы. Для этого измеряется поперечник ямы в разных азимутах, зарисовывается в плане ее контур. Если метеорит не был засыпан сверху землей, то необходимо измерить глубину залегания в яме его верхней поверхности, которая при этом должна быть тщательно осмотрена. В случае, если будут обнаружены отколы на метеорите небольших осколков, о чем можно заключить по наличию на нем участков со свежими поверхностями расколов, на которых видно внутреннее вещество метеорита, то необходимо еще раз внимательно осмотреть окрестности ямы и попытаться найти отколовшиеся от метеорита осколки. Если такие осколки будут найдены, нужно заметить, как они лежали на земле, измерить направление и расстояние от ямы до мест расположения осколков и нанести их на план. Нужно иметь в виду, что иногда осколки падают на расстоянии сотен метров от места падения метеорита. Бывает, что метеорит, падая после области задержки, раскалывается на несколько крупных частей, которые падают на некотором расстоянии одна от другой. Поэтому в случае находки нескольких относительно крупных осколков нужно попытаться сложить их между собой, и если при этом будет обнаружено, что должны быть еще осколки, следует поискать их в окрестностях уже найденных осколков.

Прежде чем извлечь метеорит из ямы, необходимо установить, как был он в ней расположен, что отчасти выясняется

и в процессе извлечения метеорита. Нужно выяснить, плотно ли прилегал метеорит к стенкам ямы или же между ним и стенками имелся зазор. В последнем случае нужно измерить ширину и глубину зазора, а также его направление относительно центра ямы. Далее, нужно определить, какой стороной метеорит был расположен кверху и какой стороной он был направлен к северу; после извлечения метеорита нужно отметить на нем его нижнюю сторону.

Извлекать метеорит из ямы надо с большой осторожностью, чтобы, во-первых, не повредить метеорит и, во-вторых, сохранить по возможность ненарушенными стенки ямы с целью повторного их изучения, если в этом возникнет необходимость.

Если метеорит имеет сравнительно небольшую массу, например, до 10—20 *кг*, то его извлечение из ямы не представит трудностей. При извлечении снова нужно внимательно проследить за тем, не разбился ли метеорит при падении или не откололись ли от него небольшие осколки. Такие отколы можно легко пропустить, если не быть внимательным, так как метеорит, а вместе с ним и отколы могут быть покрыты намазками почвы. После извлечения метеорита нужно определить направление (азимут и угол наклона относительно центра ямы и вертикальной линии соответственно) проникновения метеорита в почву. Для этого нужно измерить наклоны стенок ямы. Следует при этом иметь в виду, что часто направление падений отдельных метеоритов не совпадает с направлением движения болида или с направлением большой оси эллипса рассеяния. Угол наклона чаще всего бывает равен 20—30° относительно вертикальной линии.

В случае, если метеорит при падении разбился, то его придется извлекать из ямы по частям. При этом также нужно определить, какие части метеорита были расположены сверху и какие — на дне ямы, а также как располагались в яме остальные части, например плотно ли они прилегали друг к другу или же были перемешаны с почвой. В последнем случае нужно очень тщательно исследовать весь рыхлый материал, заполняющий яму, чтобы выбрать из него все метеоритные осколки, вплоть до самых малых. Затем нужно внимательно обследовать окрестности ямы с целью отыскания других метеоритных осколков, которые могли быть выброшены из ямы вместе с комьями земли.

Нередко случается, что метеорит в яме бывает засыпан сверху рыхлым слоем почвы. В таком случае нужно сначала измерить глубину от уровня поверхности почвы до поверхности насыпного слоя, а затем толщину этого слоя, что равносильно глубине залегания верхней поверхности метеорита от уровня поверхности почвы.

Бывает, что при падении метеориты делают рикошет и выскакивают из образованных ими лунок и ям, падая на некотором расстоянии в стороне. В этом случае нужно определить направление и измерить расстояние от места первого падения (лунки или ямы) до места второго падения, т. е. до того места, где метеорит был найден. При этом нужно отметить, как был расположен метеорит, подробно обследовать и описать яму или лунку первого падения, а затем второго, если в этом втором случае метеорит образовал какое-либо углубление в почве. При обследовании ям или лунок нужно измерить их поперечник и глубину, определить форму и описать микрорельеф данного места, установив наличие, направление и величину наклона поверхности почвы.

Если производится сбор метеоритного дождя, то изложенные выше указания к обследованию места падения метеорита выполняются в отношении каждого найденного метеорита. Последние должны нумероваться общим порядковым номером в порядке их нахождения; под этими же номерами должны быть обозначены и соответствующие ямы или вообще места находок метеоритов внутри эллипса; эти номера указываются и на карте эллипса рассеяния. При сборе метеоритного дождя нужно составить карту эллипса и указать на ней места находок каждого индивидуального экземпляра в виде кружков разного размера соответственно относительным размерам экземпляров.

При сборе метеоритов очень важно собрать в районе эллипса рассеяния и в его окрестностях образцы почвы для обнаружения в ней метеорной и метеоритной пыли (рис. 167). Образцы почвы следует брать с поверхностного слоя до глубины в 10 *см*, объемом до 10 *см*³ каждый образец, через каждые 50—100 *м* в двух взаимно перпендикулярных направлениях: по меридиану и с востока на запад. Кроме того, следует взять образцы рыхлого материала, заполняющего каждую более крупную воронку или яму. В зависимости от размера воронки или ямы следует брать от одного до трех — пяти образцов из каждой воронки или ямы.

Иногда метеориты при падении случайно попадают на крыши домов, сараев или других каких-либо сооружений. В таких случаях обязательно нужно произвести самое тщательное обследование и сделать подробное описание характера разрушения, измерить отверстие и определить его форму; особенно важно измерить по пробою и меткам, оставленным метеоритом на отдельных частях строения, направление (азимут) и угол (относительно вертикального направления) падения метеорита.

При выпадении метеоритного дождя зимой в глубокий снег сбор его целесообразно провести в первую весну, сразу же после схода снега. Как известно, небольшие метеориты, массой в сотни граммов и до нескольких килограммов, при падении в снег

обычно застревают в нем и опускаются на мерзлую поверхность почвы постепенно, по мере подтаивания под ними снега и под влиянием своего веса. Когда сойдет снег, при внимательном осмотре местности можно заметить лежащие на поверхности почвы метеориты.

Само собой разумеется, что фотографирование метеоритных воронок или ям, а особенно повреждений строений, нанесенных метеоритами, а также вообще местности, на которой рассеялся метеоритный дождь, имеет исключительно большое научное значение. Поэтому, если сборщик метеоритов имеет фотоаппарат,

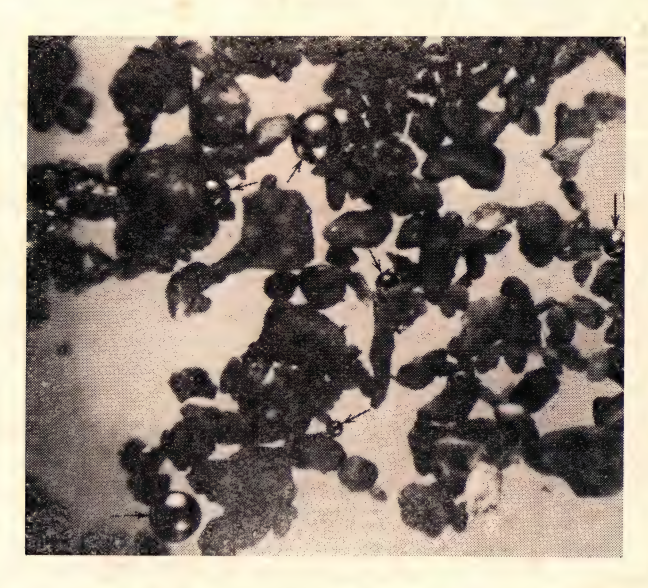


Рис. 167. Метеоритная (частицы неправильной формы) и метеорная (шарики, указанные стрелками) пыль, извлечённая из почвы с места падения Сихотэ-Алинского железного метеорита.

то обязательно следует произвести фотографирование всех объектов, связанных с падением метеорита. Около фотографируемых объектов желательно помещать какие-либо предметы для масштаба, например лопату, топор и т. д. Лучше всего для этого, конечно, использовать рейку с нанесенными на ней делениями сантиметров, дециметров и метров. При фотографировании ямы с целью получения изображения ее контуров или формы дна нужно фотографический аппарат устанавливать вертикально, а при фотографировании той же ямы в перспективе фотоаппарат устанавливается поочередно в четырех направлениях: в направлении падения метеорита, затем в противоположном направлении и, наконец, в двух направлениях, перпендикулярных к первым. В описи негативов нужно подробно

описать сфотографированные объекты и указать условия съемки. Большое значение имеют стереоскопические снимки. Помимо фотографирования, нужно также сделать чертежи и схематические рисунки отдельных ям в плане и в разрезе, с указанием на рисунках и чертежах всех замеченных подробностей (рис. 168).

Рис. 168. Схематический чертеж ямы, образованной падением наиболее крупного индивидуального экземпляра, массой в 32 *кг*, каменного метеоритного дождя Жовтневый Хутор.

Наблюдения, сделанные при обследовании места падения и сборе метеоритов, нужно записать по следующей схеме:

Обстановка падения метеорита
(метеоритного дождя)
(указывается название и дата падения)

1. *Дата и время падения.*
2. *Место падения.*
3. *Звуковые явления.* Описываются звуковые явления, которые сопровождали падение на землю отдельных метеоритов после области задержки (свист, жужжание, гул и т. д.). В описании указывается, на каком расстоянии от места падения метеорита были слышны звуки; промежуток времени, прошедший с момента исчезновения болида до возникновения звуков, характер и последовательное изменение звуков, а также их общая продолжительность.
4. *Видимость падающего метеорита.* Указывается, как высоко был замечен падающий метеорит (высота в данном случае указывается в метрах по приблизительному определению), на что был он похож, какую имел форму, цвет и размеры; был ли замечен самый момент удара метеорита о грунт и наблюдался ли при этом разброс комьев земли или столб пыли на месте удара метеорита.
5. *Состояние метеорита.* Указываются все замеченные наблюдателем явления в момент обнаружения метеорита: через какой промежуток времени после падения был обнаружен метеорит, какова была степень его нагретости, продолжительность остывания, а также и все другие замеченные подробности.

6. *Попадания.* Подробно описываются все наблюдения, сделанные при обследовании повреждений, нанесенных метеоритом, в том порядке, как указано выше.

7. *Эллипс рассеяния и места падений отдельных метеоритов.* Описывается характер местности, где выпал метеорит или рассеялся метеоритный дождь. К описанию прилагается карта эллипса и отдельные чертежи-планы отдельных воронок и ям. Описание, карта и чертежи составляются, как указано выше.

В конце описания нужно указать фамилию, имя и отчество, род занятий и специальность, а также почтовый адрес очевидца падения метеорита или лица, производившего обследование места падения и составившего описание.

Описание вместе с собранными метеоритами, образцами почвы, фотографическими снимками, картами, чертежами и рисунками пересылаются в Комитет по метеоритам АН СССР по указанному выше адресу.

Собранные метеориты должны тщательно предохраняться от повреждений. Ни в коем случае нельзя откалывать от них осколки, а тем более раскалывать на куски, так как этим они будут сильно обесценены для науки.

Поиски и сбор давно упавших метеоритов. Нередко метеориты обнаруживаются при случайных обстоятельствах, уже много лет и даже десятки и сотни лет спустя после их падения. Поэтому обыкновенно дата падения таких метеоритов остается неизвестной. Чаще всего попадаются метеориты железные, которые значительно дольше, чем каменные, сохраняются в почве и, кроме того, больше, чем каменные, привлекают к себе внимание.

Метеориты могут быть обнаружены при рытье канав и колодцев, прокладке дорог, разработке торфа, корчевании пней и особенно часто на различных рудниках, при закладке шурфов и т. д. Так, например, был найден в 1938 г. при закладке шурфа железный метеорит Чебанкол, массой свыше 120 *кг.* На эту железную глыбу обратил внимание рабочий, прокладывавший шурф.

В 1939 г. на одном из сибирских приисков в пробе эксплуатационного разреза был найден другой железный метеорит, получивший название Мальдяк и имевший массу всего лишь около 1 *кг.*

При подобных же обстоятельствах был найден в 1941 г. на другом сибирском прииске еще один железный метеорит, Бургавли, массой около 25 *кг.*

Нередко метеориты обнаруживаются при вспашке полей. Так, например, был выпахан в 1928 г. в Новосибирской области каменный метеорит Орловка, массой в 40,5 *кг.* Крестьянин заинтересовался камнем, лежавшим в серой лесной почве, выкопал его и привез домой в качестве «диковинки», так как в этой местности камней вообще не встречается. Камень два года

пролежал в палисаднике перед избой крестьянина, подвергаясь всем превратностям климатического режима этого края. В 1930 г. метеорит был отправлен в Академию наук СССР, где и хранится в настоящее время.

В 1939 г. в окрестностях одного поселка в той же Новосибирской области колхозником был выпахан каменный метеорит массой около 2,5 *кг*, получивший название Большая Корта. Заподозрив в камне кусок «руды», которая, как он думал, может иметь практическую ценность, колхозник передал свою находку секретарю райкома партии, а последний переслал камень в Новосибирское геологическое управление, где и была установлена метеоритная природа камня.

Необходимо очень внимательно относиться к камням или кускам железа, попадающимся в забоях, шахтах, россыпях, при различного рода земляных работах, при разработке торфа, при распашке полей и, особенно, целинных и залежных земель, а также и при других обстоятельствах. При таких находках нужно отделить осторожно небольшой кусочек, не допуская разрушения всего найденного образца (иногда такой кусочек легко и без всякого ущерба для находки отделяется вследствие начавшегося окисления и разрушения метеорита), и переслать его в Комитет по метеоритам АН СССР. Здесь и будет установлена окончательная природа находки. Нужно сказать, что опознать метеориты, особенно каменные и притом долго пролежавшие в почве, не так легко. Иногда только специалист в результате специального исследования сможет окончательно решить вопрос о природе найденного образца.

Недавно упавшие метеориты, не успевшие подвергнуться выветриванию, обладают следующими основными признаками. Каменные метеориты бывают покрыты тонкой (не свыше 1 *мм*) черновато-бурой, местами серой от намазок почвы, корой плавления. Эта кора наподобие тонкой скорлупы покрывает со всех сторон метеорит. Она особенно хорошо заметна по краю излома метеорита. Если кора уже начала разрушаться в результате окисления и выветривания при длительном лежании метеорита в почве, то окраска ее становится буровато-красноватой, ржавой. Кора плавления наблюдается и на железных метеоритах, на которых свежая кора имеет слабый синеватый оттенок. Местами, на выступах, кора часто бывает слущена, и здесь наблюдается блеск металла.

Поверхности метеоритов (как каменных, так и железных), покрытые корой плавления, обыкновенно отличаются сглаженностью выступов. Кроме того, на поверхности наблюдаются регмаглипты.

Сравнительно давно упавшие каменные метеориты легко крошатся и распадаются на части. В этом случае можно заметить, что все внутреннее вещество метеорита как бы пропитано продуктами окислов — ржавчиной.

Случайно найденный метеорит, после того как будет окончательно установлена его метеоритная природа, необходимо в целости переслать в Комитет по метеоритам АН СССР. Вместе с метеоритами посылается и подробное описание обстоятельств и места находки. В нем указывается также дата находки, тип почвы, глубина залегания метеорита, расположение его в почве и т. д. Очень желательно к описанию приложить хотя бы схематическую карту местности с указанием на ней двух-трех населенных пунктов и места находки метеорита.

В случае, если найденный метеорит окажется настолько сильно окисленным и выветренным, что распадается на куски, или найден в полуразрушенном состоянии, то нужно очень внимательно обследовать местность вокруг места находки с целью обнаружения возможных осколков метеорита. Как и в предыдущем случае, очень желательно к описанию приложить фотографические снимки общего вида места находки метеорита, равным образом и снимки отдельных деталей. Под описанием указывается фамилия, имя и отчество лица, нашедшего метеорит, его род занятий и специальность, а также почтовый адрес.

За каждый переданный в Комитет по метеоритам АН СССР метеорит, как уже было сказано, нашедшему выдается денежная премия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кринов Е. Л., Основы метеоритики, Гостехиздат, 1955.
2. Кринов Е. Л., Инструкция по наблюдению падений, поискам и сбору метеоритов, Изд-во АН СССР, 1961.

§ 8. Инструкция для наблюдений переменных звезд

Изучение переменных звезд — это обширное поле деятельности для астронома-любителя. Уже простым глазом можно вести наблюдения переменных звезд до 5-й звездной величины (по всему небу известно более 40 таких звезд), а в призменный бинокль или небольшой телескоп можно получить ценный научный материал о звездах 7—10-й звездной величины.

В настоящее время при помощи крупных телескопов и фотографии обнаружено и исследовано около 25 000 переменных звезд. Астрономы-специалисты не успевают регулярно следить за всеми переменными звездами. Многие даже яркие переменные не имеют продолжительных рядов наблюдений. Сотни любителей во всех странах мира помогают астрономам, наблюдая максимумы цефеид и долгопериодических переменных звезд, минимумы затменных переменных, что позволяет уточнять значения периодов, обнаруживать изменения их во времени. Во многих случаях звезды не показывают правильного периодического хода явлений. Это особенно относится к полуправильным, неправильным, новоподобным и вспыхивающим переменным

звездам, закономерности изменения блеска которых сложны и еще не достаточно изучены. В окрестностях хорошо изученных переменных звезд обычно имеется несколько постоянных звезд сравнения, звездные величины которых определялись сравнением с каким-нибудь стандартом (см. § 6, гл. III) многими наблюдателями. Они служат для определения блеска переменной звезды, которая с ними сравнивается. В некоторых случаях их можно использовать, чтобы определить величины звезд сравнения еще неисследованной переменной звезды, но нужно помнить, что точность таких «третьестепенных» определений невелика. Определение звездных величин сравнением со стандартными звездами производится при одинаковом положении сравниваемых звезд над горизонтом. В противном случае необходимо вводить поправку за поглощение в земной атмосфере, учитывающую разность зенитных расстояний сравниваемых звезд.

Выбор и поиски переменных звезд. Выбор звезды для исследования, помимо своих интересов, приходится сообразовывать с имеющимся инструментом. Простым глазом можно оценивать звезды до 5^m. Ниже приведены предельные величины звезд, доступные при наблюдениях в телескоп с отверстием в *D мм*. В зависимости от качества оптики в действительности предел инструмента может несколько отличаться от рассчитанного.

D	15	25	50	75	100	150	200
m	8,0	9,1	10,6	11,6	12,1	13,0	13,6

Вначале следует выбирать звезды более яркие, далеко от предела, с большими амплитудами изменения блеска, с правильными колебаниями: цефеиды, затменные переменные, звезды типа Миры Кита. После приобретения навыка в оценках блеска можно приступить к более трудным наблюдениям звезд с небольшой амплитудой, с тонкими эффектами в кривых блеска, а также к исследованию неправильных, полуправильных и неизученных переменных звезд.

Выбрав звезду, ее наносят на звездную карту по координатам α и δ той эпохи равноденствия, к которой отнесены звезды атласа, т. е. с учетом прецессии. Это даст возможность грубо найти звезду среди ярких звезд неба. Для наблюдений звезд до $8^m,5$ можно пользоваться большим «Звездным атласом» А. А. Михайлова, где отмечены звезды до $8^m,25$ и, в частности, переменные звезды до $8^m,2$ в максимуме. Для более слабых звезд можно использовать звездные атласы Бечваржа («Атлас неба» и «Атлас эклиптикальных звезд»). Обычно для слабых звезд в рекомендованных изданиях приводится карта окрестностей переменной с указанием звезд сравнения. Поиски следует начинать с отождествления ярких звезд и переходить постепенно ко все более слабым звездам, обозначенным на карте.

Полезно мысленно составить цепочку из звезд от какой-нибудь яркой звезды, видимой невооруженным глазом, к исследуемой переменной, запомнить наиболее характерные конфигурации звезд (двойные и кратные звезды, более яркие звезды, составляющие цепочки, треугольники и другие запоминающиеся фигуры) с тем, чтобы в последующие ночи быстро находить переменную звезду на небе.

Если наблюдатель обладает телескопом с экваториальной установкой, поиски звезды можно облегчить, — найти яркую звезду или характерную конфигурацию звезд с тем же склонением, как и у переменной звезды. Закрепив затем инструмент ключом по склонению, движением по часовому углу легко приводят телескоп на нужное место, где переменная звезда отождествляется по карте окрестностей.

Списки переменных звезд, доступных для наблюдений в инструменты средней мощности, приводятся в табл. 31 отдела «Таблицы». Для некоторых переменных звезд можно найти карты окрестностей и звездные величины звезд сравнения, например, в книге П. Г. Куликовского «Справочник любителя астрономии».

Оценки блеска. Прежде чем оценивать блеск переменной звезды, надо выбрать для нее *звезды сравнения*. Звезды сравнения выбираются поблизости от переменной звезды, желательно в поле зрения инструмента. Надо выбрать несколько звезд, близких по цвету к переменной, с интервалом по блеску порядка $0^m,3$—$0^m,5$. Лишь в крайних случаях можно использовать бóльшие или меньшие интервалы, так как это снижает точность оценок. Увеличение числа звезд сравнения повышает точность наблюдений. Разность в блеске оценивается в степенях. Методы оценок см. в § 17, гл. IV.

Перед наблюдениями нужно побыть несколько минут в темноте, чтобы глаз приспособился (адаптировался) к слабым освещенностям. При наблюдениях недопустимо применение ярких фонарей, лампочек от карманного фонаря, не защищенных темно-красным стеклом. Нужно остерегаться также бокового постороннего освещения.

Прежде всего, выберем звезды сравнения, ближе всего подходящие по блеску к переменной, одну ярче, другую слабее ее. Можно выбрать несколько таких пар, если звезд сравнения достаточно. При наблюдениях сравниваемые звезды должны всегда симметрично располагаться относительно центра поля зрения, если они не отстоят от него далеко. Если звезды близки к краям поля зрения или не умещаются в нем, при сравнении блеска нужно быстро переводить инструмент с одного объекта на другой, помещая их всегда в центр поля зрения.

Затем нужно определить число степеней, на которое различается блеск сравниваемых звезд. Так как звезды мерцают, сделать это нелегко. Быстро переводя взгляд с переменной звезды

на звезду сравнения, чтобы не ослабло световое ощущение, и повторяя такую операцию несколько раз, чтобы проверить впечатление о различии или равенстве блеска, производим количественную оценку.

Количественная оценка может быть произведена тремя способами: Аргеландера, Пикеринга или Нейланда — Блажко (см. § 17, гл. IV).

Ошибки наблюдений. Случайные ошибки создают рассеяние точек относительно истинной кривой блеска. При визуальных наблюдениях они составляют от $\pm 0^m,08$ до $\pm 0^m,20$ в зависимости от опыта наблюдателя. Осреднение многих наблюдений, если это возможно, уменьшает случайные ошибки, но нельзя думать, что таким путем можно добиться любой степени точности. Предел точности глазомерных относительных оценок составляет около $\pm 0^m,05$.

Большие неприятности доставляют систематические ошибки, которые могут незаметно исказить действительную картину явлений (см. § 17, гл. IV).

Запись времени и журнал наблюдений. Для быстроменяющихся звезд время записывается с точностью 0,1—0,5 *минуты*. Для долгопериодических и медленных неправильных переменных достаточна точность $0^d,1-1^d$, т. е. запись даты и часа наблюдений. Вспышки некоторых вспыхивающих переменных типа UV Кита происходят в течение нескольких секунд, в таких случаях время фиксируется на слух или по счету секунд от некоторого замеченного момента. Часы должны быть сверены с сигналами точного времени, передаваемыми по радио, и в моменты наблюдений вносятся соответствующие поправки. Выраженные обычно в декретном времени моменты приводятся к всемирному времени. Наблюдатели переменных звезд пользуются непрерывным счетом суток по юлианскому календарю (см. § 6, гл. I). Часы, минуты и секунды переводятся по табл. 13 отдела «Таблицы» в доли суток.

Световое уравнение. При движении Земли вокруг Солнца наблюдатель оказывается то дальше от звезды, то ближе, если только звезда не находится в полюсе эклиптики. За счет этого свет, движущийся со скоростью около 300 000 *км/сек*, достигает Земли то раньше, то позже, в зависимости от положения ее на орбите (различие достигает $\pm 8^m,306$). Моменты наблюдений должны быть исправлены за это движение согласно уравнению

$$\Delta t = -0^d,0058 \cdot R \cdot \cos(L_\odot - \lambda) \cos\beta,$$

где Δt — поправка для приведения момента к центру Солнца, R — радиус-вектор Земли, $L_\odot$ — долгота Солнца (соответствующая гелиоцентрической долготе Земли минус 180°), λ и β — эклиптические координаты (долгота и широта) звезды. Можно пользоваться номограммой, составленной М. С. Зверевым и опу-

бликованной в книге Б. В. Кукаркина и П. П. Паренаго «Переменные звезды и способы их наблюдения».

Полученные моменты носят название приведенных к Солнцу и обозначаются значком $\odot$ (например, $JD_{\odot}$).

Когда в течение ночи наблюдается несколько переменных звезд, во избежание хаотичности в записях лучше всего производить запись на отдельных листках для каждой переменной. На них можно наклеить карточки окрестностей и вести запись колонками, отмечая в них номер по порядку, момент наблюдения, оценку блеска, состояние атмосферы и наблюдателя. Записи должны производиться аккуратно, четким почерком, чтобы избежать ошибок при расшифровке. Окончательную обработку производят в отдельной тетради, где в колонках выписываются юлианские дни и вычисленный по оценкам блеск переменной. Все записи рекомендуется вести на одной стороне листа, так как при обработке часто приходится проводить дополнительные вычисления. Во всех случаях следует предпочитать хронологический порядок ведения записей.

Обработка наблюдений. Определение звездных величин переменной звезды. В интерполяционных способах оценок блеска звездная величина переменной легко определяется интерполяцией между звездными величинами звезд сравнения. Можно пользоваться при этом интерполяционными формулами (см. § 1, гл. VI) и таблицами или простым графическим приемом.

Во многих случаях, особенно при использовании способа Аргеландера и Нейланда — Блажко, необходимо связать блеск звезд сравнения единой зависимостью — степенно́й шкалой, и сопоставить степенную шкалу со шкалой звездных величин. Это даст возможность исправить значения звездных величин звезд сравнения, если они были определены неточно, а также учесть индивидуальные особенности восприятия блеска данным наблюдателем, ибо каждый наблюдатель по-своему оценивает соотношение блеска, особенно если звезды различаются немного по цвету.

Прежде всего, определяют средние разности в степенях между звездами сравнения, например $b - a = 5^s{,}56$, $c - b = 3^s{,}25$, $d - c = 2^s{,}00$ и т. д. (в порядке убывания блеска). В способе Аргеландера оценки таких разностей производятся специально, в способе Нейланда — Блажко можно использовать и оценки с переменной, например, из оценки $b2v5c$ получаем $c - b = 7^s{,}0$ и берем среднее из всех таких наблюдений. Теперь строим степенную шкалу. Принимая для наиболее яркой звезды значение $a = 0^s{,}00$, получаем для звезды $b = a + (b - a) = 0^s{,}00 + 5^s{,}56 = 5^s{,}56$, для $c = a + (b - a) + (c - b) = 0^s{,}00 + 5^s{,}56 + 3^s{,}25 = 8^s{,}81$ и т. д. Полученные выражения блеска звезд сравнения в степенях вполне соответствуют (при аккуратных наблюдениях) звездным величинам, в чем легко убедиться,

построив графическую зависимость между степенями и звездными величинами (рис. 169). Обычно точки на графике располагаются около прямой линии, если величина степени постоянна на всем интервале звездных величин. Отклонения точек от прямой линии характеризуют ошибки наблюдений. Иногда величина степени зависит от звездной величины, что приводит к изгибанию прямой на графике. Тогда проводят плавную кривую

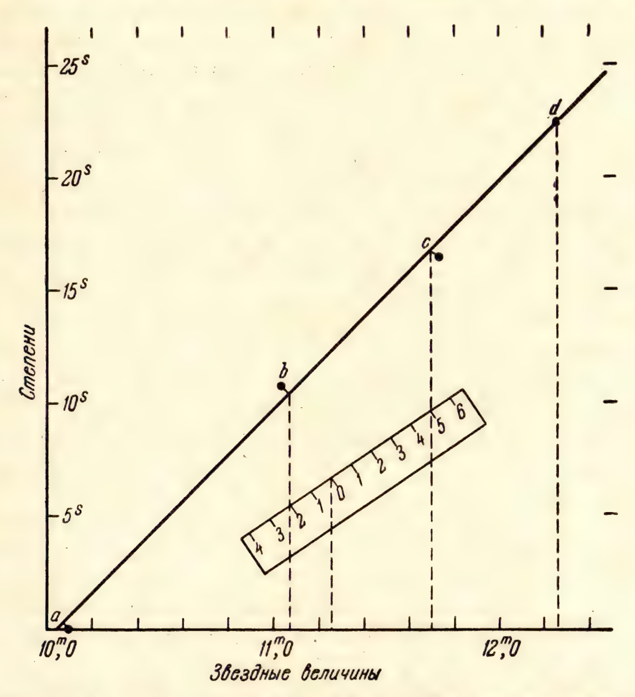


Рис. 169. Зависимость между степенной шкалой и шкалой звездных величин. Исходные звездные величины и степени звезд сравнения: $a=10^m,08$ $(0^s,00)$: $b=11^m,04$ $(10^s,60)$; $c=11^m,74$ $(16^s,70)$; $d=12^m,25$ $(22^s,40)$. Исправленные значения звездных величин: $a=10^m,06$; $b=11^m,08$; $c=11^m,68$; $d=12^m,25$. На рисунке с помощью линейки с делениями производится интерполяция $b2v5c$. Соответствующая звездная величина переменной звезды $v=11^m,26$.

линию так, чтобы она по возможности прошла вблизи всех точек. Сумма уклонений точек от этой кривой должна равняться нулю по обеим координатам. При помощи графика звездные величины звезд сравнения приводятся к степенной шкале наблюдателя. Для этого из точек на прямую опускают перпендикуляры, как показано на рисунке, и с горизонтальной оси (оси звездных величин) снимают исправленные значения звездных величин звезд сравнения. С этими значениями можно переходить к вычислению звездной величины переменной. Интерполяцию можно производить с помощью этого же графика, проведя

вертикальные прямые и пользуясь интерполяционной линейкой (см. рис. 169).

Если звездные величины звезд сравнения неизвестны и их нельзя определить привязкой к стандарту, то блеск звезд сравнения и переменной звезды выражается в степенной шкале, которая строится так же, как в указанном примере.

Построение кривой блеска. Теперь мы имеем моменты наблюдений и блеск переменной звезды, выраженный в звездных величинах или степенях, — все, что нужно, чтобы определить зависимость изменения блеска от времени. Отложим по горизонтальной оси время, по вертикальной — звездные величины или степени. Масштаб графика должен соответствовать скорости процессов. Для медленно меняющихся переменных звезд, например, достаточно располагать 100 дней на 5 *см,* для быстрых переменных нужно иметь возможность отмечать на графике десятые или даже сотые доли суток. Масштаб по другой оси должен выбираться так, чтобы чертеж не получался слишком сжатым или вытянутым. Нанеся на график все наблюдения, мы получаем, таким образом, картину изменения блеска переменной звезды. Дальнейшая обработка наблюдений зависит от типа переменности.

Неправильные и полуправильные переменные. Переменные этих типов показывают нерегулярные колебания блеска. Кривая блеска, нанесенная на график, вполне характеризует эти переменные. Если наблюдений много, можно попытаться подметить какие-либо закономерности в ходе изменений блеска, например частоту повторяемости длины циклов, которые считаются от максимума до максимума или от минимума до минимума. Некоторые полуправильные переменные показывают двойные волны, так что в полный цикл изменений входят два максимума и два минумума. Иногда можно обнаружить, что средний блеск (исключая более мелкие колебания и волны) изменяется в более длинном цикле. Часто несколько таких колебаний накладываются друг на друга.

Выявить конкретные закономерности изменения блеска неправильных и полуправильных переменных звезд очень важно, но для этого нужны продолжительные наблюдения, охватывающие годы и десятилетия. Нужно иметь в виду, что переменные этих типов, как правило, принадлежат к поздним спектральным классам и имеют красный и желтый цвета, что создает большие систематические ошибки в оценках блеска, зависящие от инструмента и наблюдателя. Нужно вести наблюдения с одинаковыми по цвету звездами сравнения, при достаточной высоте звезды над горизонтом и по возможности с одним и тем же инструментом. При переходе на другой инструмент нужно некоторое время вести параллельные оценки на двух инструментах, чтобы можно было создать сравнимый ряд наблюдений, учтя систематическую разницу. Большое значение имеют коллективные оценки одной

и той же звезды, что в значительной степени позволяет освободиться от личных систематических ошибок наблюдателей. Сказанное относится, разумеется, ко всем звездам, но при наблюдении полуправильных и неправильных звезд систематические ошибки особенно опасны.

Переменные звезды типа Миры Кита. Изменения блеска этих звезд носят почти периодический характер. Однако кривые блеска их могут довольно сильно изменяться от периода к периоду. Величина периода тоже подвержена случайным колебаниям, а иногда изменяется систематически. Особенностью этих переменных являются значительные амплитуды колебаний блеска, так что в минимумах наблюдения без крупных инструментов производить трудно. Так, блеск самой о Кита (Миры) колеблется в пределах от 2^m до 10^m. Если не ставить целью исследование формы кривых блеска, достаточно наблюдать такие звезды вблизи максимума, когда они становятся видны в наш инструмент. После нанесения на график определяются момент максимума и максимальный блеск. Чтобы не следить за звездой все время, момент наступления максимума предвычисляется по формуле

$$M_t = M_0 + P \cdot E,$$

где M_0 — момент начального максимума, P — период, E — некоторое целое число, которое подбирается так, чтобы получить момент M_t, когда звезда может наблюдаться на небе. Периоды звезд типа Миры Кита бывают от 120 до 1000 дней, отклонения от предвычисленных максимумов достигают иногда значительных величин. Поэтому наблюдения следует начинать за месяц-два до предвычисленного момента, если позволяют условия. Сначала наблюдают редко, а вблизи максимума наблюдения проводятся два-три раза в ночь. Если при этом обнаруживается все же сильный разброс отдельных значений на кривой блеска, близкие по времени точки осредняют, что увеличивает точность.

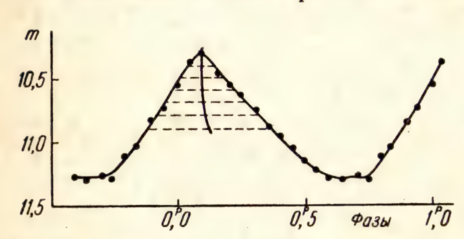


Рис. 170. Определение момента максимума цефеиды способом Погсона.

Способ Погсона для определения моментов экстремумов. Момент экстремума (максимума или минимума) можно определить на графике кривой блеска следующим приемом. Вблизи экстремума в выпуклой части кривой блеска (рис. 170) проводится несколько хорд параллельно оси времени. Хорды делятся на две равные части и через точки деления проводится плавная кривая до пересечения с кривой блеска. Момент, соответствующий точке пересечения, снятый с оси времени, и бу-

дет моментом экстремума. Способ Погсона применим для определения моментов максимумов звезд типа Миры Кита, цефеид, полуправильных переменных и минимумов затменных переменных.

График $O - C$. Для изучения поведения периода строят график уклонений наблюденных моментов M от предвычисленных по формуле на стр. 436. Для сравнения нужно брать точки с одинаковой фазой (обычно максимумы физических переменных или минимумы затменных). Ход зависимости $O - C$ от времени (JD) или числа протекших периодов (E) определяется следующими причинами:

1) Неточность принятого значения периода. Тогда график имеет вид наклонной прямой. Если $O - C$ возрастает со временем (при увеличении E), то период следует увеличить на величину $(O - C)/E$, если уменьшается, то период слишком велик и его нужно уменьшить. График можно представить в виде прямой $O - C = a + b \cdot E$. Вычисляя коэффициенты a, b способом наименьших квадратов, получают поправку начального момента и поправку к периоду b. В зависимости от знака b нужно увеличить или уменьшить значение периода.

2) Изменение периода. Если период изменяется, то график $O - C$ не является прямолинейным. Это может быть либо парабола, если период прогрессивно растет или уменьшается (тогда график представляется уравнением вида $O - C = a + b \cdot E + c \cdot E^2$, или синусоида: $O - C = a + b \cdot t + \sin(\omega t + \varphi)$, или, наконец, ломаная линия, если период меняется скачкообразно. Иногда изменение периода не удается представить формулой. Тогда график $O - C$ дает наглядное представление об изменении периода со временем (рис. 171).

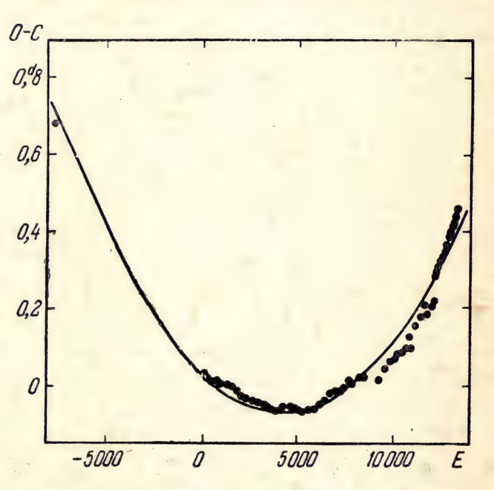


Рис. 171. График $(O - C, E)$, показывающий изменение периода затменной переменной звезды U Цефея. Изменения $O - C$ представляются параболой, что свидетельствует о прогрессивном увеличении периода. Возможны также небольшие скачки и колебания в длине периода на фоне общего увеличения его длины.

Построение средней кривой. Кривая блеска периодической переменной может быть представлена в виде графика в пределах одного периода, так как параллельный перенос всей кривой блеска на целое число периодов приводит к совмещению кривой блеска с самой собой. Процесс сведения всех наблюдений к одному периоду облегчается вычислением фаз. Зафикси-

руем исходный момент, соответствующий максимуму, минимуму или произвольной точке на кривой блеска. Тогда по формуле

$$M_{t0} = M_0 + P \cdot E,$$

где P — период и E — целое число, можно предвычислить другие моменты M_{t0}, когда значение блеска будет таким же, как и в исходный момент (и с тем же знаком изменения, например, всегда на восходящей ветви). При помощи арифмометра легко вычислить фазы, выраженные в долях периода. Разделим разность между моментом наблюдения и исходным моментом $M_t - M_0$ на период *). Частное будет состоять из целого числа — E — количества протекших целых периодов и некоторой дроби, представляющей остаток от деления, разделенный на период. Последняя величина и будет фазой (Ф),

$$\frac{1}{P}(M_t - M_0) = E + \Phi.$$

Легко сообразить, что Ф будет изменяться от 0 до 1 (ибо мы всегда выделяем целое число) и однозначно соответствовать каждой точке на периодической кривой.

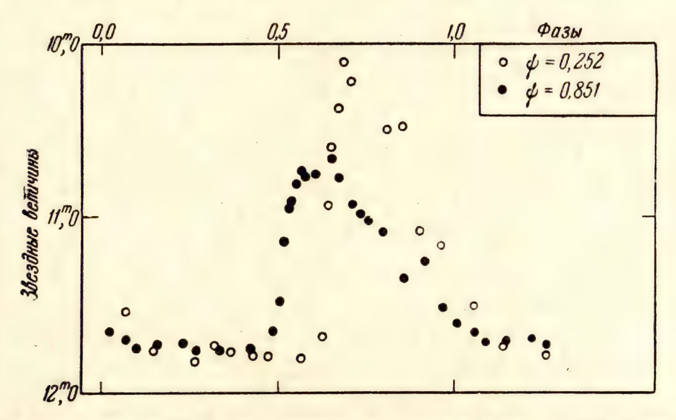


Рис. 172. Две средние кривые блеска короткопериодической цефеиды RV Козерога, показывающие изменения формы в зависимости от фазы вторичного колебания ψ (эффект Блажко). График построен по наблюдениям В. П. Цесевича.

Теперь мы можем нанести все наблюдения на график в пределах одного периода. Фазы откладываются по горизонтальной оси, звездные величины или степени — по вертикальной. Весь график будет заключен между фазами от $0^P,000$ до $1^P,000$ (в долях периода) или от $0^d,00$ до P^d (в днях), однако график можно продолжить, прибавив ко всем фазам $1^P,000$ или величину P^d, если фазы выражены в днях. От этой операции все точки сдвинутся на один период, и мы сможем обозревать места стыков (рис. 172).

---

*) На арифмометре деление на P можно заменить умножением на $1/P$.

Из-за ошибок наблюдений кривая блеска, сведенная к одному периоду, не будет представляться непрерывной линией, а будет наблюдаться некоторое рассеяние точек. Если наблюдений много, можно объединить близкие по фазам точки, вычислив средние фазы и блеск из нескольких близких значений (группы берутся по 5, 10 и 20 точек в зависимости от числа наблюдений). Вблизи минимумов затменных или на крутых восходящих ветвях цефеид наблюдений оказывается меньше. При группировке следует объединять точки в порядке возрастания фаз, независимо от их положения относительно кривой блеска. Некоторые точки, сильно уклоняющиеся от общего хода кривой, можно выбросить из обработки (но не больше 1% всего числа наблюдений). Полученные осредненные точки наносят на отдельный график, получая, таким образом, *среднюю кривую блеска.*

Прежде чем строить среднюю кривую блеска, нужно исправить значение периода. Если период изменяется, следует представить изменения формулой и учесть влияние этих изменений при вычислении фаз. Если такие вычисления провести затруднительно, то кривые блеска строятся для небольших интервалов наблюдений, например, для каждого сезона отдельно.

Затменные переменные звезды. При наблюдениях затменных переменных особенно важно изучить изменение блеска в минимуме и определить момент наибольшего ослабления блеска (*середину затмения*). По формуле на стр. 436 предвычисляют все минимумы, какие могут наблюдаться ночью в пункте наблюдения. Вблизи минимума и в самом минимуме наблюдения ведутся с интервалом от нескольких минут до часа, в зависимости от длины периода. Для определения индивидуального момента минимума пользуются способом Погсона. С графика (обычно средней кривой, объединяющей несколько минимумов) снимаются значения продолжительности всего затмения D (от момента первого ослабления блеска до восстановления нормального блеска) и продолжительность полного затмения d (если в минимуме происходит остановка в изменении блеска). Если период не подвержен быстрым изменениям, то допустимо осреднение минимумов по наблюдениям, произведенным в течение одного сезона (например, за месяц или год). Такие, приведенные к одному и осредненные, минимумы называются *нормальными.* Они имеют несколько бóльшую точность, если период можно считать неизменным в интервале осреднения.

Если имеется достаточно глубокий вторичный минимум, возникающий от затмения второй из двух звезд, находящихся в системе, его также следует наблюдать. Наблюдения всей кривой блеска рекомендуется производить опытным наблюдателям для выяснения тонких эффектов в кривых блеска (*эффект эллиптичности*, *отражения* и др.). Изучение графиков $O - C$ представляет большой интерес, так как часто период подвержен случайным

или систематическим изменениям, связанным с движениями тел или газовых масс в системе. Таким путем иногда обнаруживается существование в системе третьего тела.

Цефеиды. Методы наблюдений и обработки короткопериодических ($P < 1^d$) и долгопериодических ($P > 1^d$) цефеид существенно не различаются. Для короткопериодических цефеид требуются более частые наблюдения, особенно вблизи максимумов, и учет светового уравнения. Цель наблюдений — получить моменты индивидуальных максимумов, вывести из них нормальные максимумы (средние за сезон), построить среднюю кривую блеска для каждого сезона. Объединение продолжительных рядов наблюдений допустимо только при значительной стабильности периода и кривой блеска, что часто не является установленным. Долгопериодические цефеиды часто обнаруживают скачкообразные изменения периодов. Сопоставление результатов разных наблюдателей за продолжительные сроки дает возможность выявить такие изменения по графикам $O - C$. Короткопериодические цефеиды иногда показывают вторичные, обычно периодические колебания формы кривой блеска, сопровождающиеся периодическими колебаниями значения периода (*эффект Блажко*). Эти явления мало изучены и наблюдения таких цефеид представляют большую ценность. Вместе с тем они довольно трудны, так как изменения обычно незначительны. Ставить такие звезды в программу наблюдений имеет смысл только после приобретения опыта в оценках.

Вспыхивающие звезды, звезды типа U Близнецов, новые звезды. Звезды первых двух типов весьма слабы по блеску и доступны лишь любителю, вооруженному телескопом в 3—5 дюймов. Новые звезды иногда могут наблюдаться простым глазом, но обычно они быстро ослабевают и становятся недоступными даже при наблюдениях в крупные инструменты. Об открытии ярких новых звезд обычно сообщается по радио и в газетах. Во всем интервале видимости за ними следует вести регулярные наблюдения по нескольку раз в ночь, так как блеск новых звезд подвержен неожиданным вторичным вспышкам или неправильным колебаниям в процессе угасания звезды. Вспышки новых звезд происходят в течение нескольких дней и вследствие неожиданности возрастание их блеска часто не наблюдается астрономами. Наблюдения во время возрастания блеска поэтому особенно ценны. Если яркая новая звезда замечена до получения сообщения об ее открытии, необходимо срочно послать телеграмму по адресу: Москва, В-234, ГАИШ, Бюро астрономических сообщений и начать ее систематические наблюдения. Многие яркие новые звезды были открыты и наблюдались любителями астрономии до максимума блеска, чем была оказана значительная услуга науке.

Вспышки звезд типа U Близнецов и типа UV Кита (вспыхивающих звезд) происходят циклически, с некоторым средним

интервалом времени между вспышками. Однако предсказать момент вспышки невозможно, поэтому за такими звездами следует вести непрерывные наблюдения. Особенно интересны звезды типа UV Кита, вспышки которых протекают иногда в течение нескольких секунд или минут, со скоростью до $0^m,25$ за секунду. Амплитуда вспышки обычно достигает нескольких звездных величин, так что звезда легко может быть пронаблюдена вблизи максимума, даже если в минимуме она находилась за пределом видимости в данный инструмент. Наблюдения во время вспышки следует вести, не отрываясь от телескопа, фиксируя время на слух или по счету с точностью до секунды. Ход и поправка часов должны быть известны и моменты соответствующим образом исправлены.

Фотографические наблюдения переменных звезд. При помощи почти любого фотоаппарата или фотографического объектива и простой экваториальной установки можно вести фотографические наблюдения переменных звезд. Фотографические наблюдения более экономны, так как на одной фотопластинке сразу фиксируются все звезды определенного участка неба. Если имеется серия фотографий в количестве 100—200 штук для одного участка неба, то можно получить надежные кривые блеска всех переменных звезд, полученных на фотопластинке. Вновь открываемые переменные звезды могут быть исследованы через несколько лет после их фотографирования. Фотопластинка является документом, фиксирующим блеск звезд для многих поколений.

Предельная звездная величина звезд, которые выходят на фотопластинке в течение принятой экспозиции, зависит в основном от диаметра объектива фотографической камеры. В нижеследующей таблице приведены данные о предельной звездной величине при экспозиции 30 минут и пластинках 40—50 ГОСТ для наиболее распространенных и доступных любителю объективов.

Объектив	Диаметр, *мм*	Фокусное расстояние, *мм*	Относительное отверстие	$m_{пред}$
Индустар 17	100	500	1 : 5	$12^m,2$
Индустар 13	67	300	1 : 4,5	11,3
Индустар 51	47	210	1 : 4,5	10,6
Индустар 22	15	50	1 : 3,3	8,1

Для фотографирования звезд можно использовать также старые портретные объективы, которые обладают большим отверстием и светосилой и хорошими изображениями на площади с радиусом 5—10°. Имея хороший объектив, можно легко

изготовить примитивную фотографическую камеру и установить ее на экваториальной установке.

Фокусировка астрономических фотокамер производится движением объектива в кольце с винтовой нарезкой, а не движением кассетной части, которая обычно жестко связана с камерой. Степень выдвижения объектива в кольце фиксируется при помощи отметок целых оборотов и их долей, причем целые обороты наносятся на шкале, связанной с объективом, а доли оборотов можно отсчитывать, разделив окружность кольца на десять равных долей и установив указатель на подвижной части объектива. Если камера сделана достаточно жестко, фокусировка сохраняется длительное время и только при изменении температуры фокус иногда приходится изменять (особенно для длиннофокусных инструментов и рефлекторов). Требуется регулярная проверка четкости изображений на фотографиях, которая в значительной степени зависит от фокусировки. При фотографировании лучше всего пользоваться экспозициями в 20—30 минут. При меньших экспозициях недостаточно используется мощность камеры, а при больших — исследование быстро меняющихся звезд становится затруднительным. Вспыхивающие звезды фотографически исследовать с маломощными инструментами не рекомендуется.

Яркие переменные звезды и новые вблизи максимума блеска можно фотографировать в течение нескольких минут при неподвижной установке. На фотографии тогда будут видны следы от ярких звезд, что позволит сравнивать блеск звезд на протяжении всей экспозиции. Однако чтобы получить изображения наиболее слабых звезд, доступных при имеющемся объективе, необходимо во время экспозиции гидировать инструмент по какой-либо достаточно яркой звезде. Для этого камера должна быть снабжена ведущей визуальной трубой с фокусным расстоянием, не меньшим фокусного расстояния фотографического объектива. Необходим также экваториальный штатив. Микрометрические винты для движения по часовому кругу должны обеспечивать равномерное движение инструмента с фотокамерой в течение экспозиции. В поле зрения в фокусе окуляра гидирующей трубы располагается крест нитей. Ведущая звезда должна в течение экспозиции находиться строго на пересечении нитей. Если увеличение гида значительно и фон неба слаб, нити становятся невидимыми. Тогда применяют подсветку нитей или поля зрения.

Большое значение имеет устройство для движения инструмента параллельно суточному движению звезд. Если нет часового механизма, то можно воспользоваться устройством, сконструированным И. Д. Новиковым (см. § 13, гл. IV).

При наличии часового механизма его нужно наладить и отрегулировать, проверяя по движению ведущей звезды той области, которая предполагается для фотографирования. Часовой механизм ни в какой мере не освобождает наблюдателя от

гидирования, так как всегда в движении случаются небольшие неправильности, которые могут вывести инструмент из правильного положения. Но часовой механизм в значительной степени облегчает гидирование и улучшает качество изображений.

В качестве фотоматериала для фотографирования звезд следует применять несенсибилизированные пленки или фотопластинки высшей чувствительности (не менее 800—1000 по Х. и Д. или 40—50 ГОСТ), одного и того же сорта. Можно пользоваться и высокочувствительными панхроматическими фотоматериалами, однако нужно иметь в виду, что существующие системы фотографических звездных величин рассчитаны на несенсибилизированные материалы. Для получения так называемых фотовизуальных звездных величин фотографирование ведется на ортохроматических материалах с желтым фильтром. В этом случае система звездных величин оказывается близкой к визуальной системе, т. е. соотношения в блеске между звездами разной окраски таковы, как и при наблюдениях глазом. При переходе к эмульсии другого сорта следует вести несколько ночей параллельное фотографирование на пластинках двух сортов, чтобы иметь возможность определить систематическую разность в блеске звезд.

Проявление производится в мягких (неконтрастных) медленно действующих проявителях. Следует пользоваться одним и тем же рецептом и следить, чтобы проявитель всегда был свежий.

В журнале наблюдений отмечается время начала и конца экспозиции, сорт и размер пластинок, условия наблюдения и гидирования. Момент наблюдения относится к середине экспозиции.

Определение блеска звезд на фотографиях производится теми же способами, как и при визуальных оценках. Следует предпочесть способ Нейланда — Блажко. Изображения звезд рассматриваются в лупу с увеличением 4—6 раз. Для ярких звезд, которые находятся в области передержек, существует зависимость между блеском и диаметром изображения, тогда как для слабых, недодержанных, звезд градация почернений очень мала. В связи с этим величина степени может зависеть от звездной величины и при построении зависимости «степени — звездные величины» график будет сильно отличаться от прямолинейного. Оценки на фотографиях обычно имеют меньшую точность (особенно для предельных звезд), чем при визуальных наблюдениях. Для изучения тонких эффектов следует предпочесть визуальные наблюдения. Точность фотографических наблюдений возрастает, если пользоваться методом цепочек, фотографируя на одной пластинке цепочку в 5—10 изображений звезд (путем последовательного сдвига кассеты или всего инструмента по склонению или прямому восхождению). При этом нужно следить, чтобы изображение переменной звезды не накладывалось на изображения других звезд. Так как весь ряд из 5—10 наблюдений производится на одной эмульсии, становится

возможным осреднять несколько точек или корректировать ход изменения блеска. Способ эффективен только для ярких звезд, так как слабые звезды не допускают небольших экспозиций, а длительные выдержки на одной пластинке приводят к образованию вуали от фона неба.

При изучении блеска звезд на фотографиях пользуются фотографическими звездными величинами звезд сравнения или стандартов (так как фотопластинка более чувствительна к синим лучам и нечувствительна к красным, в противоположность глазу). Определение блеска звезд сравнения можно производить впечатыванием на одну пластинку двух областей: исследуемой и стандартной (когда они могут фотографироваться в одну ночь друг за другом при одинаковых зенитных расстояниях).

Открытие переменных звезд. Если наблюдателю удалось осуществить хорошую гидирующую систему и получить изображения звезд хорошего качества, то можно попытаться искать новые переменные звезды. Хотя яркие переменные звезды по 10—12^m в значительном большинстве уже открыты, однако они открыты далеко не все и среди таких звезд особенно много звезд редких типов с такими особенностями, которые затрудняют их открытие. При фотографировании Млечного Пути всегда имеет смысл быстро просматривать фотопластинки с целью обнаружения новых звезд. Хотя случаи вспышек новых звезд редки, систематическая слежка за областями, где они часто появляются, особенно желательна (например, в областях, близких к направлению на галактический центр, — созвездия Стрельца, Стрелы, Щита, а также Лебедя, Ящерицы, Кассиопеи, Цефея). Рекомендуется следующий простой прием для открытий переменных звезд. Для исследуемой области получают несколько фотографий, разбросанных во времени, с экспозициями более длительными, чем обычно (порядка часа), с тщательным гидированием и только при хороших атмосферных условиях. С этих фотографий на диапозитивных контрастных пластинках получают позитивные копии контрастным способом в параллельном пучке света (например, располагая фонарь на расстоянии 2—3 *м* от копировальной рамки с пластинками). Позитивы должны иметь полупрозрачный, серый фон, для чего пробами подбирается нужная экспозиция. Проявление ведется в контрастном или нормальном проявителе. После просушки позитивы накладываются на обычные негативы той же области неба, относящиеся к другим моментам, и изображения звезд совмещаются. При рассматривании совмещенных изображений на свет при помощи лупы (хорошо изготовить для этого горизонтальный станок с молочным стеклом и с подсветкой электрической лампой) мы увидим звезды в виде черных точек, окруженных светлыми ореолами. На общем однообразном фоне таких изображений переменные звезды будут выделяться более светлыми ореолами или более темными, чем обычно, изображениями.

* * *

Наблюдения только тогда приобретают ценность для науки, если они сделаны аккуратно и с достаточной точностью, а также когда ими могут пользоваться другие астрономы.

Наблюдения переменных звезд, а также результаты наблюдений и исследований следует направлять во Всесоюзное астрономо-геодезическое общество (103009, Москва, К-9, а/я 918, Отдел переменных звезд МОВАГО) или в Комиссию по переменным звездам Астросовета АН СССР (Москва, 117312, ул. Вавилова, 34).

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы исследования переменных звезд, «Наука», 1971.

2. Цесевич В. П., Переменные звезды и способы их исследования, «Педагогика», 1970.

3. Набоков М. Е., Астрономические наблюдения с биноклем, Гостехиздат, 1948.

§ 9. Инструкция для наблюдений покрытий звезд Луной

Наблюдения покрытий звезд Луной дают ценный материал для решения ряда важных задач: определения радиуса Луны и ее фигуры, уточнения теории движения Луны, построения карт лунного рельефа, вывод поправок эфемеридного времени и др.

Наблюдения покрытий звезд Луной заключаются в фиксации точного момента исчезновения звезды за диском Луны. Эти наблюдения осложняются рядом обстоятельств, одним из которых являются неровности лунного края. Поэтому для получения точных моментов покрытий надо учитывать лунный рельеф. В настоящее время имеется несколько карт рельефа краевой зоны Луны, составленных во второй половине нашего столетия. Наиболее подходящими являются карты Уоттса и А. А. Нефедьева.

Для того чтобы вычислить поправки за неровности лунного края по картам Уоттса, необходимо знать топоцентрическую оптическую либрацию по долготе λ_0 и широте β_0 и позиционный угол P оси вращения Луны. Карты Нефедьева составлены в координатной системе, предложенной Гайном. Для получения высот по этим картам надо знать селенографические топоцентрические координаты P' и D *). Следует заметить, что изогипсы на этих картах представляют сглаженный рельеф и поэтому снятые с них высоты не дают точных поправок за неровности лунного края. Для этого, чтобы как-то снизить влияние рельефа на результаты наблюдений, необходимо организовать массовые наблюдения покрытий любителями астрономии, находящимися в различных пунктах страны.

---

*) О получении этих координат см. [2]. Адрес для консультации указан на стр. 451.

Для приведения данных наблюдений к центру Земли надо знать географические координаты пункта наблюдений с точностью, строго говоря, не менее 6″. Но при массовых наблюдениях можно удовлетвориться точностью до 1′ по широте и 5—6^s по долготе.

При наблюдениях покрытий звезд различают два явления: *покрытие* и *открытие* звезды Луной. Открытия звезд наблюдать гораздо труднее, чем покрытия. Главная трудность состоит в том, что при наблюдении открытий наблюдатель не знает заранее, в каком именно месте диска появится звезда, так как перед появлением она закрыта Луной. Тем не менее наблюдать открытия звезд весьма желательно и необходимо. Дело в том, что если наблюдать только одни покрытия на темном крае, то мы будем изучать движение Луны лишь в одной половине ее орбиты, другая же останется неисследованной.

Наблюдения покрытий звезд Луной могут быть выполнены двумя методами: визуальным и фотоэлектрическим. Последний метод требует довольно сложной аппаратуры, большой точности регистрации моментов времени (до 0^s, 001) и, следовательно, хорошо налаженной службы времени, что огромному большинству любителей недоступно. Поэтому описывать и рекомендовать любителям фотоэлектрический метод нецелесообразно.

Обычные покрытия звезд. Эфемериды покрытий. Для успешного наблюдения покрытий следует иметь их эфемериды, т. е таблицы со сведениями о предстоящих покрытиях. Эфемериды покрытий для нескольких городов СССР публикуются в Астрономическом Календаре — ежегоднике ВАГО. Кроме того, отделениям ВАГО и обсерваториям Советского Союза высылаются отдельные эфемериды, которые включают расширенный список покрываемых звезд.

Инструменты. Для наблюдений покрытий можно использовать любые оптические инструменты, от бинокля до телескопа. Увеличение телескопа следует выбирать в соответствии с наблюдаемым явлением. При наблюдениях покрытий можно брать большие увеличения, доходящие до $2d$, где d — диаметр объектива телескопа в *мм*. При наблюдении открытий приходится применять меньшее увеличение с тем, чтобы можно было видеть значительную часть лунного края, из-за которого должна появиться звезда. В противном случае она может появиться вне поля зрения и наблюдатель вообще не увидит звезды. Вредное влияние лунного света можно ослабить подбором диафрагм, накладываемых на объектив или установкой в фокусе объектива заслонки, экранирующей свет Луны. В последнем случае можно наблюдать покрытия и более слабых звезд.

При наблюдениях открытий важно знать место появления звезды из-за лунного края. Позиционный угол открытия известен из эфемериды, поэтому необходимо применить устройство,

позволяющее «отметить» на диске Луны позиционный угол открытия. Такое устройство можно изготовить самостоятельно. Заметим, что его можно заменить окулярным микрометром.

Регистрация времени. Главное, к чему должен стремиться наблюдатель — это как можно точнее отметить моменты покрытия и открытия звезды. На эту точность основное влияние оказывает реакция наблюдателя, которая учитывается посредством *личного уравнения* (*личной разности*). Величина личного уравнения τ у разных наблюдателей различна и, чтобы ее учитывать, необходимо экспериментальное исследование. Следует заметить, что величины τ при покрытии и открытии будут несколько различаться; они даже зависят от освещенности лунного края, на котором происходит явление. Однако такие тонкости в определении τ доступны не всем наблюдателям и поэтому будет достаточно знания хотя бы одного значения τ, например, для покрытий темным краем, которые наблюдаются чаще всего.

Если учесть, что Луна перемещается на фоне звезд на $0'',1$ в течение 0,2 секунды времени, то при регистрации времени надо стремиться к достижению точности в 0,1 секунды. Экспериментальные оценки τ показывают, что точность визуальных наблюдений покрытий составляет $0,1—0^s,2$. Исходя из этого, желательно выбирать приборы для регистрации моментов времени, обеспечивающие точность в $0^s,1$. Это могут быть секундомеры, хронометры, хронографы. Наблюдатель должен быть знаком с системами счета времени и его измерением по крайней мере в таком объеме, чтобы быть в состоянии определить момент покрытия по всемирному времени. Поправка часов (под часами понимается прибор, используемый для регистрации времени) определяется либо из приема сигналов точного времени, передаваемых по радио (см. § 5, гл. II), либо из сравнения с другими часами, поправка которых известна. Чаще используется первый метод. По возможности нужно стремиться определять поправку как до, так и после наблюдений; тогда моменты явлений будут получены более уверенно.

Подготовка результатов наблюдений к публикации. Отчет о результатах наблюдений покрытий оформляется в виде таблицы:

Дата U. T.	Звезда Z. C.	Зв. вел.	Телескоп, $T_{увел}$	Наблюдатель	Явление	Оценка	Примечание	Регистрация времени	Личное уравнение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Заголовки таблицы означают:

1. Указываются последовательно год, месяц, число и момент по всемерному времени (U. T.) с точностью до долей секунд.

2. Если наблюдаемая звезда имеется в эфемериде, то ставится номер звезды по зодиакальному каталогу (Z. C.). Если звезда отсутствует в эфемериде и она наблюдалась, то приводится ее номер по любому каталогу с обязательным полным его названием.

3. Указывается звездная величина, данная в эфемериде.

4. Ставится шифр телескопа и примененное увеличение.

5. Дается шифр фамилии наблюдателя. Например, ИС — Иван Сидоров.

6. Наблюдавшееся явление отмечается двумя буквами: ПТ — покрытие темным краем Луны; ОТ — открытие темным краем; ПС — покрытие светлым краем; ОС — открытие светлым краем.

7. Сообщается субъективная оценка точности отсчета момента времени по пятибальной шкале:

5 — точность до 0,1—0,2 *секунды*,
4 — » до 0,5 *секунды*,
3 — » до 1 *секунды*,
2 — » небольшая, возможно, до 1 *секунды*,
1 — » неаккуратное, грубое наблюдение.

8. Примечание о характере исчезновения звезды, об условиях наблюдений.

9. Регистрация времени: ГУ — метод «глаз — ухо», ГК — метод «глаз — клавиша».

10. Указывается личное уравнение наблюдателя.

Если информация, помещенная в графах схемы 4, 5, 9, 10 не меняется от строки к строке, то ее можно поместить отдельно от схемы.

Кроме этого, в отчете указываются название места наблюдения, его географические координаты и высота над уровнем моря (координаты даются с той точностью, с которой они известны, и непременно сообщается их источник), наименование учреждения, фамилии и инициалы наблюдателей, методы регистрации времени и определения поправок часов, учет личных уравнений наблюдателей в регистрации моментов наблюдений (помещенных в первой графе отчета), фамилия, имя и отчество лица, составлявшего отчет, адрес для писем и адрес для телеграмм.

Желательно описать в отчете характеристики инструментов (рефлектор, рефрактор, диаметр, фокусное расстояние) и методику определения личных уравнений наблюдателей. В случае необходимости надо поместить замечания, относящиеся к оформлению отчета.

Отчеты о результатах наблюдений покрытий звезд составляются в трех экземплярах и высылаются два раза в год, к 15 июля и к 15 января, по адресу: 252053, Киев 53, Обсерва-

торная ул., 3, Астрономическая обсерватория Киевского университета.

По этому же адресу следует направлять все вопросы по наблюдениям и эфемеридам покрытий.

Касательные или царапающие покрытия звезд. Касательные покрытия звезд привлекли к себе внимание сравнительно недавно, но уже дали очень ценные результаты.

Касательное покрытие выглядит следующим образом. Звезда медленно приближается к краю Луны по касательной линии и в некоторый момент времени неожиданно и почти мгновенно исчезает за краем лунного диска, но через несколько секунд вновь появляется чуть дальше по ходу движения. Через несколько мгновений звезда опять внезапно исчезает за неровностями лунной поверхности и также внезапно снова появляется. Все явление касательного покрытия длится не более 2—3 минут.

Касательные покрытия можно наблюдать лишь в довольно узкой полосе земной поверхности, шириной около 4—5 *км*, проходящей вдоль границы покрытия, т. е. той линии, за которой покрытие уже не происходят. Поэтому, как правило, для наблюдений касательных покрытий группе наблюдателей приходится выезжать в район видимости явлений и там проводить совместные наблюдения в любые оптические инструменты: школьные и самодельные телескопы, зрительные трубы, теодолиты и др.

Эфемерида касательных покрытий. Эфемерида касательного покрытия содержит список координат точек границы покрытия и позиционных углов касания, моменты касания по всемирному времени, высоту Луны над горизонтом, звездную величину звезды и наименование лунного края, на котором будет происходить касание. Эти данные необходимы для того, чтобы наблюдатели могли заранее оценить возможности наблюдений.

Расположение наблюдателей. Во время наблюдений касательного покрытия наблюдатели должны находиться на линии, перпендикулярной к границе покрытия, причем половина наблюдателей находится по одну сторону границы, а остальные — по другую. Максимальное удаление от границы не должно превосходить 1,5—2,0 *км*. Наблюдатели располагаются по возможности на равных расстояниях, зависящих от их числа. Точность наблюдений повышается при большем числе наблюдателей. Однако даже наблюдения, проведенные одним наблюдателем, представляют несомненный научный интерес.

Регистрация моментов времени. Точность регистрации моментов времени, к которой надо стремиться составляет $0^s,1$. Однако при касательных покрытиях это требование менее важно и достаточна точность в 2—3 секунды. Более того, будут иметь ценность даже такие наблюдения, при которых моменты времени не фиксируются, а отмечается число исчезновений и появлений звезды, а также их характер (медленное или мгновенное исчезновение и появление).

Можно указать следующие способы регистрации времени.

Первый способ — регистрация времени по часам. Он особенно удобен при наличии помощника наблюдателя. Наблюдатель называет явление (покрытие, открытие), не отрываясь от окуляра, а помощник в этот момент фиксирует и записывает показание часов, поправка которых должна быть известна. При двух помощниках наблюдатель называет явление, первый помощник в этот момент замечает и объявляет показание часов, а второй записывает показание в журнал наблюдений.

Второй способ. Если в распоряжении наблюдателей имеется два секундомера, то в момент первого исчезновения звезды пускают в ход один секундомер. При появлении звезды одновременно нажимают кнопки обоих секундомеров, останавливая тем самым первый и запуская второй. Сразу же записывают показания первого секундомера. В момент повторного исчезновения звезды снова нажимают кнопку обоих секундомеров, останавливая второй и запуская первый. Теперь показания снимаются со второго секундомера. Эти операции повторяются последовательно до последнего явления открытия звезды. Запущенный в этот момент секундомер не останавливают до приема сигналов точного времени по радио, по которым проводится привязка моментов наблюдений.

Третий способ. Наблюдатель, знакомый с технической фотографией, может воспользоваться довольно простым приемом: в моменты покрытия и открытия звезды фотографируется циферблат часов (лучше всего хронометра), а затем в спокойной обстановке на проявленной пленке снимают их показания. Для этой цели удобнее всего использовать фотоаппараты с автоматической перемоткой пленки («Ленинград», «Зенит-5» и др.).

Четвертый способ. В этом способе используются магнитофон и хронометр. Микрофон помещают так, чтобы на пленку отчетливо записывались удары хронометра и голос наблюдателя. Можно использовать два микрофона — один для наблюдателя, другой для хронометра. В момент явления наблюдатель резко и отрывисто произносит в микрофон какое-либо слово или отдельный слог. Затем записанные на пленку звуки голоса и ударов хронометра воспроизводят и определяют время явлений. Привязку можно осуществить, предварительно произнеся в микрофон название минуты и секунды определенного удара хронометра.

Пятый способ. В основу этого способа положен принцип пишущего хронографа. В этом случае все наблюдательные пункты соединяются с одним центральным пунктом проводами и наблюдения ведутся способом «глаз — клавиша». На центральном наблюдательном пункте имеется прибор, аналогичный пишущему хронографу, с числом перьев, равным числу наблюдателей, увеличенному на единицу. Одно перо используется для записи сигналов времени. Питание хронографа подается от аккумулятора (например, автомашины). В момент явления наблю-

датель специальной клавишей замыкает контакт в электрической цепи хронографа и соответствующее перо отмечает момент явления на движущейся ленте. Этот способ более сложен в техническом отношении, но гораздо эффективнее.

Описанные способы — это лишь некоторые из возможных для регистрации моментов времени касательных покрытий. Поэтому наблюдателям представляется полная свобода для творчества и создания более простых, удобных и эффективных способов регистрации моментов времени.

Подготовка результатов наблюдений к публикации. Отчет о наблюдениях касательных покрытий должен содержать всю ту информацию, которая была указана в разделе для обычных покрытий звезд, с той лишь разницей, что здесь для одной и той же звезды будет несколько наблюдательных пунктов и несколько моментов покрытий и открытий на каждом пункте. Необходимо сделать следующие дополнительные замечания. Координаты наблюдательных пунктов должны быть известны с точностью до секунды дуги по широте и долготе и по крайней мере до 15 *м* по высоте над уровнем моря. Эти координаты удобно получить, пользуясь картой масштаба 1 : 25 000 или 1 : 50 000. Необходимо указывать также характер исчезновения или появления звезды: мерцание, медленное угасание, скачкообразное изменение блеска, моментальное покрытие и т. д. Наблюдатель должен сообщать любую относящуюся к делу информацию.

Отчеты о наблюдениях касательных покрытий следует составлять по возможности в более краткие сроки и направлять по адресу: ТАССР, Зеленодольский р-н, ст. Обсерватория, Астрономическая обсерватория им. В. П. Энгельгардта, директору Нефедьеву А. А. По этому же адресу можно проконсультироваться по любым вопросам, связанным с наблюдениями касательных покрытий звезд.

Правильно оформленные результаты наблюдений покрытий звезд Луной публикуются в Информационных сообщениях Астрономической комиссии Астросовета АН СССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровский К. К., Инструкция для наблюдений покрытий звезд Луной, Изд-во АН СССР, 1951.

2. Нефедьев А. А., Карты рельефа краевой зоны Луны на общем нулевом уровне, Изв. Астрон. обсерватории им. Энгельгардта, № 30, 1958.

§ 10. Инструкция для наблюдений искусственных спутников Земли

4 октября 1957 г. Советский Союз успешно запустил первый искусственный спутник Земли, открыв тем самым новую космическую эру в истории человечества. С каждым годом возрастает роль ИСЗ в решении многих научных и народнохо-

зяйственных задач. Значительная часть научных результатов получена по наблюдениям за движением спутников.

Движение ИСЗ возмущается сопротивлением атмосферы, несферичностью Земли, влиянием Луны и Солнца. Поэтому теоретическое предвычисление эфемерид ИСЗ на длительный промежуток времени недостаточно точно. Для регулярных наблюдений ИСЗ в СССР существует с 1957 г. специальная сеть наблюдательных оптических станций при университетах, педагогических институтах, астрономических обсерваториях и других учреждениях, возглавляемая Астрономическим советом Академии наук СССР.

В решении задач повышения качества и эффективности эфемеридной службы ИСЗ, проведения научных исследований и использования накопленного за пятнадцать лет богатейшего наблюдательного материала в интересах геофизики, геодезии и других наук значительную роль могут сыграть отделения Всесоюзного астрономо-геодезического общества и любители астрономии.

Классификация ИСЗ. Значительное разнообразие ИСЗ приводит к необходимости их классификации по ряду основных признаков, связанных с особенностями их оптических наблюдений.

Международный код. Каждому элементу данного запуска присваивается кодовый номер: первые номера (1 или А) — полезному грузу (спутник, возвращаемые аппараты), вторые номера (2 или В) — ракете-носителю, последующие номера (3, 4, 5 ... или С, D, Е, ...) — фрагментам ИСЗ. При запуске одной ракетой нескольких спутников нумерация групп соответственно смещается. Пример эфемеридного номера ИСЗ: 71065 00100 — год запуска 1971, порядковый номер запуска в этом году — 65-й, элемент запуска — № 1 (спутник).

Астрономическая классификация. Определяющим признаком является видимая угловая скорость ω, зависящая от линейной орбитальной скорости v, топоцентрического расстояния от ИСЗ до наблюдателя D и направления вектора скорости по отношению к наблюдателю σ. Значение ω вычисляется по одной из следующих формул:

$$\omega''\, сек^{-1} \approx \frac{206\,265 \cdot v}{H} \cos z,$$

$$\omega''\, сек^{-1} \approx \frac{0{,}0743}{D} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)^{1/2} \cos \sigma,$$

где H — высота ИСЗ над поверхностью Земли в *км*, r, a — соответственно геоцентрическое расстояние до ИСЗ и большая полуось его орбиты (в долях $R_{\oplus\,экв}$).

По величине ω *сек*$^{-1}$ ИСЗ подразделяются на следующие группы:

	Стремительный	Очень быстрый	Быстрый	Средней скорости	Медленный	Очень медленный
ω H, *км*	2—5° 100÷250	1°,5—2° 250÷300	1—1°,5 300÷450	0,5—1° 450÷1000	0,2—0°,5 $10^3 \div 2 \cdot 10^3$	$\leqslant$ 0°,2 $(2-2,5) \cdot 10^3$

Классификация ИСЗ по видимому блеску выглядит следующим образом:

Условный тип блеска	Описание	$m_{ИСЗ}$
Очень яркие	Резко выделяются среди звезд	−3÷−1
Яркие	Легко заметны невооруженным глазом в безлунную ночь	2÷4
Средней яркости	Уверенно наблюдаются в БМТ при полнолунии	5÷7
Слабые	Видны в БМТ при хороших условиях наблюдений	8÷10
Очень слабые	Предельная видимость в БМТ в безлунную ночь при отличной прозрачности	10÷13

В качестве «стандартного» инструмента считается бинокулярная труба БМТ-110М (диаметр объектива 110 *мм*, увеличение 20$^\times$, поле зрения 5°). Звездная величина ИСЗ определяется при астрометрических наблюдениях с точностью $\pm 0^m,5$.

Классификация ИСЗ по характеру изменения блеска. Видимый блеск ИСЗ является сложной функцией ряда аргументов: расстояния от наблюдателя до ИСЗ D, высоты ИСЗ над горизонтом h, коэффициента прозрачности атмосферы в момент наблюдения p, фазового угла ИСЗ ψ, его углового расстояния от Луны в момент наблюдения; альбедо поверхности, диаметра ИСЗ d и его формы.

Функциональная зависимость $m_{ИСЗ}$ от некоторых факторов имеет простое выражение. Например,

$$\Delta m_\psi = -5 \lg \cos \frac{\psi}{2}; \quad \Delta m_D = 5 \lg \left(\frac{D_2}{D_1}\right); \quad \Delta m_{p,\,h} \approx \frac{1-p}{\sin h}.$$

От других факторов эта зависимость выражается сложнее. Интегральная зависимость блеска ИСЗ от совокупного влияния всех факторов надежнее всего определяется из наблюдений. При сравнении результатов, полученных в разных отделениях ВАГО, следует иметь в виду следующее: 1) чем больше географическая широта пункта наблюдения φ и его высота над уровнем моря, тем выше коэффициент прозрачности атмосферы p и

тем больше m_g для одного и того же типа инструмента; 2) в синхронные периоды наблюдений на двух пунктах с разным φ кривые изменения блеска одного и того же объекта будут различными.

Представляют определенный интерес визуальные оценки характера изменения блеска ИСЗ наблюдателем — так, как он видит в определенные периоды слежения за объектом.

В целях единообразия наблюдений и возможности их статистической обработки рекомендуется применять следующую фотометрическую классификацию искусственных космических объектов, разработанную В. И. Курышевым в 1965 г. (рис. 173):

Фотометрическая классификация ИСЗ

Код №	Блеск (группа)	Основная характеристика
1	Постоянный	Изменение блеска вследствие изменений атмосферного поглощения, угла фазы, влияния Луны и др.
6	Почти постоянный	Колебания блеска до $\pm 1^m$: быстрые притухания (вспышки), связанные с особенностями вращения ИСЗ
2	Переменный пульсирующий без исчезновения	Плавное изменение блеска в широких пределах без исчезновения
7	Переменный пульсирующий с исчезновением	То же (гр. 2), но с исчезновением в минимуме блеска
3	Переменный мерцающий с исчезновением	Короткопериодическое (непрерывное) изменение блеска с промежутком в доли секунды
8	Переменный мерцающий с исчезновением	То же (гр. 3), но с трудно фиксируемым исчезновением в минимуме блеска
4	Переменный вспыхивающий с коротким исчезновением	Вспышки (всплески), не менее 1—2 на 5°, с коротким исчезновением в минимуме блеска
9	Переменный вспыхивающий с длительным исчезновением	Вспышки с длительным исчезновением
0	Не определен	Не известна

Необходимо учесть следующие замечания к этой таблице. Для пульсирующих ИСЗ характерно плавное изменение блеска; при этом возрастание и ослабление блеска по отношению к локальному максимуму могут быть не строго симметричными. Вспыхивающие ИСЗ отличаются внезапностью вспышки (всплеска) и очень быстрым ослаблением с последующим исчезновением. Характер изменения блеска ИСЗ оценивается за период его визуального сопровождения (в отличие от оценок блеска, даваемых на момент наблюдения). Хотя фото-

метрические характеристики ИСЗ имеют, строго говоря, локальный характер, но обработка массовых и качественных наблюдений, произведенных в разных пунктах страны, даст возможность получить ценные выводы научного и практического характера.

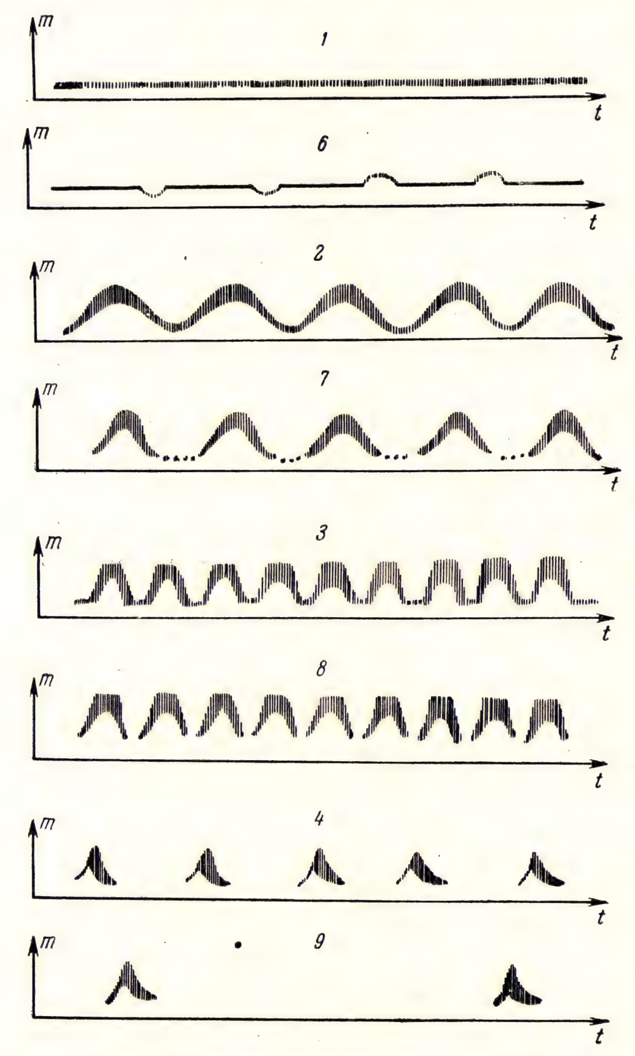


Рис. 173. Фотометрическая классификация ИСЗ.

Астрометрические наблюдения ИСЗ. Визуальные наблюдения ИСЗ для целей эфемеридной службы вычислительного центра могут проводиться в горизонтальной или экваториальной системах координат. Основная задача

наблюдений — измерение небесных координат ИСЗ в нескольких точках его видимой трассы с одновременным определением моментов времени прохождения объектом этих точек. Точность наблюдений должна быть не ниже $0^{\circ},1$ по положению и $0^{s},1$ по времени. Следовательно, астрометрические наблюдения ИСЗ требуют обязательного наличия Службы времени.

Наблюдения ИСЗ в горизонтальной системе координат заключаются в непосредственном измерении азимута A и высоты h (принят геодезический счет азимутов; см. § 3, гл. I) при помощи угломерного инструмента.

Объект наблюдается (засекается), как правило, на вертикальной нити сетки поля зрения и как можно ближе к его центру. Если объект наблюдался при прохождении точно через перекрестие сетки нитей, то его наблюденные координаты равны считанным при помощи нониусов отсчетам соответствующих кругов. Если объект в момент засечки прошел через вертикальную нить выше или ниже горизонтальной нити, то азимут наблюденный ($A_{н}$) будет равен отсчету по горизонтальному кругу $A_{о}$, а высота $h_{н}$ — отсчету по вертикальному кругу $h_{о}$ плюс расстояние, на котором прошел объект от горизонтальной нити $\Delta h_{о}$, т. е.

$$A_{н} = A_{о}, \quad h_{н} = h_{о} \pm \Delta h_{о}.$$

При прохождении объекта через зенит он движется параллельно вертикальной нити и поэтому наблюдается на горизонтальной нити. В этом случае

$$A_{н} = A_{о} \pm \Delta A_{г}; \quad h_{н} = h_{о} - \Delta h_{г} \quad \text{или} \quad z_{н} = z_{о} + \Delta z_{г},$$

где $\Delta A_{г}$, $\Delta h_{г}$ — поправки за наблюдение объекта не на вертикальной нити. Обычно вместо нахождения $\Delta h_{г}$ определяется $z_{н}(h_{н})$ по известному $h_{о}$. Поправка $\Delta A_{г}$ и величина $z_{н}$ вычисляются по формулам

$$\operatorname{tg} \Delta A_{г} = \operatorname{tg} d \cdot \sec h_{о},$$

$$\cos z_{н} = \cos d \cdot \sin h_{0}.$$

В этих формулах d есть расстояние точки засечки объекта от вертикальной нити.

При наблюдении объекта вне центра поля зрения инструмента и не на центральных нитях (при выходе из тени, при вхождении в тень, при определении координат в момент вспышки и т. п.) наблюденные координаты объекта находятся по формулам

$$A_{н} = A_{о} \pm \Delta A_{г}; \quad h_{н} = h_{о} \pm \Delta h_{о} - \Delta h_{г}.$$

Любое астрометрическое наблюдение сопровождается различными ошибками, зависящими от инструмента, метода наблюдения, условий работы и квалификации наблюдателя. Чем полнее и точнее учет возможных ошибок при наблюдении (из-

мерении), тем выше точность получаемых результатов. Поправки за суммарные инструментальные погрешности вычисляются по формулам (индекс «в» означает «вычисленный», «н» — «наблюденный»):

$$\Delta A_c = A_*^{\text{в}} - A_*^{\text{н}}; \quad \Delta h_c = h_*^{\text{в}} - h_*^{\text{н}}.$$

Определение этих поправок из наблюдений производится по одному из двух способов: абсолютному — из сравнения непосредственно наблюденных на четырех альмукантаратах 15, 35, 55, 75° в исследуемый инструмент и полученных перевычислением из (α, δ) в $(A^{\text{в}}, h^{\text{в}})$ координат звезд, и относительному (по эталону) — определением разностей соответствующих горизонтальных координат одних и тех же звезд, наблюдаемых в исследуемые инструменты и в эталонный инструмент, точность которого значительно выше точности исследуемых. Подробное изложение этих методов содержится в [4, 5].

Окончательные значения измеренных горизонтальных координат объекта с учетом всех поправок будут равны

$$A_{\text{ИСЗ}} = A_{\text{в}} \pm \Delta A_{\text{г}} \pm \Delta A_{\text{с}};$$
$$h_{\text{ИСЗ}} = h_{\text{о}} \pm \Delta h_{\text{о}} \pm \Delta h_{\text{с}} - \Delta h_{\text{г}} - \Delta h_{\rho},$$

где Δh_{ρ} — поправка за среднюю рефрацию в функции $h_{\text{о}}$.

Наблюдения объектов в горизонтальной системе координат требуют стационарной (фундаментальной) установки инструментов или, при ее отсутствии, нивелирования инструмента и ориентирования его кругов по Полярной перед началом и в конце каждого периода наблюдений.

Так как ошибки установки кругов по Полярной

$$\Delta A_{\text{п}} = A_{\text{п}}^{\text{в}} - A_{\text{п}}^{\text{н}}; \quad \Delta h_{\text{п}} = h_{\text{п}}^{\text{в}} - h_{\text{п}}^{\text{н}}$$

носят локальный характер, то нельзя подменять ими суммарные погрешности, определяемые в 6—8 вертикалах на четырех альмукантаратах.

Наблюдения ИСЗ в экваториальной системе координат наиболее доступны отделениям ВАГО и астрономическим кружкам. Сущность их заключается в определении видимого положения спутника относительно звезд в ряде точек видимой части орбиты с регистраци й моментов наблюдений.

Определив по звездному атласу или каталогу координаты опорной звезды α_*, δ_* и измерив расстояния $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$ точки засечки объекта от этой звезды, получим экваториальные координаты объекта:

$$\alpha_{\text{ИСЗ}} = \alpha_* \pm \Delta\alpha; \quad \delta_{\text{ИСЗ}} = \delta_* \pm \Delta\delta.$$

Для визуальных наблюдений ИСЗ в системе (α, δ, t) пригодна любая широкоугольная светосильная труба. Стационарная установка инструмента не требуется, хотя ее наличие

упрощает процессы наведения трубы в заданный район неба и, главное, отождествление района наблюдения со звездной картой.

Если эфемериды ИСЗ выдаются в системе (A, h, t), то перед наблюдениями координаты (A, h) переводятся в (α, δ) по стереографическим сеткам Вульфа или Каврайского, по звездному глобусу или по таблицам для широты пункта наблюдения.

Методика наблюдений. Инструмент нацелен по кругам или звездам в избранный район неба. До прохождения объекта наблюдатель внимательно изучает и запоминает звездную конфигурацию. В зависимости от характера изменения блеска ожидаемого объекта его обнаружение ведется барьером (когда ряд наблюдателей с одинаковыми трубами, поля зрения которых перекрываются, стерегут появление объекта) или способом индивидуального поиска.

Увидев объект, наблюдатель подправляет положение трубы (по высоте, азимуту) так, чтобы объект шел в направлении как можно более близком к центру поля зрения, и сопровождает его, наблюдая в трубу. Выбрав район неба, удобный для привязки спутника к звездам, наблюдатель останавливает движение трубы, установив ее с некоторым упреждением по ходу движения объекта. В момент прохождения объекта около звезды, в створе двух звезд или через выбранную конфигурацию звезд, наблюдатель нажатием на кнопку секундомера регистрирует время засечки объекта. В этот момент как можно точнее оценивается и запоминается местоположение спутника относительно ближайших звезд. Секундомер останавливают в нулевую секунду по точным часам или радиосигналам времени. Не трогая инструмент, наблюдатель записывает показания кругов и название яркой ближайшей звезды или созвездия; зарисовывает на палетке конфигурацию звезд и наносит на ней место засечки спутника по отношению к звездам или сетке нитей; наконец записывает момент засечки по часам и секундомеру. Палетки представляют собой изображение сетки нитей инструмента, изготовленные на прозрачной основе в масштабе звездной карты, используемой для отождествления.

Выбор момента засечки. В зависимости от реальных условий засечки (наблюдения) производятся в момент: а) прохождения ИСЗ через звезду; б) нахождения ИСЗ в створе близко расположенных двух опорных звезд с оценкой расстояния от одной из них (желательно, чтобы опорные звезды были не дальше 30′ от объекта); в) нахождения ИСЗ в избранной точке характерной конфигурации звезд (например, в середине треугольника, на диагонали квадрата и т. д.); г) пересечения ИСЗ горизонтальной или вертикальной нитей сетки поля зрения с оценкой расстояний от перекрестья или ближайшей звезды; д) пересечения объектом той нити сетки поля зрения, направление которой совпадает с направлением двух достаточно ярких звезд (доступных отождествлению и содержащихся в ка-

талоге). Последний способ легко осуществим для инструментов, позволяющих вращать окулярную часть трубы; окулярной сетке можно придать любой позиционный угол (наблюдения с вращающейся сеткой).

Способы оценки углового расстояния ИСЗ от звезды: 1) Визуальная оценка расстояния по памяти угловых расстояний, принятых за эталон (например, расстояния в несколько дуговых минут между звездами тесных телескопических пар). 2) Визуальная оценка расстояния между точкой засечки и звездой по сравнению с известными расстояниями между нитями или штрихами сетки поля зрения. 3) Сравнение искомого расстояния с примерно равным расстоянием между двумя близкими звездами в районе засечки с последующим определением или уточнением последнего расстояния по звездной карте. 4) Пропорциональное деление известного (или определяемого после наблюдений) расстояния между звездами, на воображаемой прямой между которыми произведена засечка. 5) В случае засечки объекта на вертикальной (горизонтальной) нити сетки определяется расстояние точки засечки от центра сетки нитей по известным угловым расстояниям и размерам штрихов сетки.

Привязка объекта к сетке нитей. При прохождении объекта вдали от звезд или на участке, бедном достаточно яркими звездами, его наблюдение производят на вертикальной или горизонтальной нитях сетки, применяя вспомогательный способ фиксации звездных прохождений через нити сетки. При этом фиксируются моменты прохождения одной звезды через две нити или двух звезд через одну и ту же нить сетки. На палетке наносятся точки наблюдения спутника и звезд. Проводятся суточные параллели звезд: через две точки наблюдений одной и той же звезды — сразу на палетке, или через одну из двух звезд, используя соседние (к данной звезде) параллели координатной сетки, после наложения данной сетки с палеткой на звездную карту.

Отождествление звезд на звездной карте: накладываем на карту прозрачную координатную сетку, а на сетку — палетку; добиваемся совпадения зарисованных на палетке положений звезд с их положением на карте (или совпадения одного положения звезды и ее суточной параллели). По координатной сетке, прилагаемой к карте, отсчитываются α, δ точки засечки объекта. Вычисляется изменение α за разность моментов наблюдения объекта и звезды: $\Delta\alpha = \Delta T$. Экваториальные координаты спутника будут равны

$$\alpha_{\text{ИСЗ}} = \alpha_* + \Delta T, \quad \delta_{\text{ИСЗ}} = \delta_*,$$

где $\Delta T = T_* - T_{\text{ИСЗ}}$.

Для отождествления наблюдений и определения экваториальных координат ИСЗ отделение ВАГО должно располагать

звездными атласами чешского астронома А. Бечваржа: «Atlas coeli, 1950,0»; «Atlas borealis, 1950,0»; «Atlas eclipticalis, 1950,0». При использовании большого «Звездного атласа» А. А. Михайлова необходимо координаты $\alpha_{1900,0}$, $\delta_{1900,0}$, определенные по атласу, переводить на эпоху 1950,0, так как машинная обработка материалов наблюдений ИСЗ запрограммирована в вычислительном центре СССР для средних координат $\alpha_{1950,0}$, $\delta_{1950,0}$.

Фотометрические наблюдения ИСЗ. Систематические и научно организованные определения визуального блеска ИСЗ и его изменений дают ценный материал для изучения ориентации спутников в пространстве, определения периодов вращения, что позволяет решать важную геофизическую проблему о строении верхней атмосферы и ряд других. Визуальные фотометрические наблюдения спутников не требуют дорогостоящего оборудования; методика их проведения несложна, поэтому они могут успешно вестись практически в каждом отделении ВАГО и астрономами-любителями.

Визуальный способ определения моментов экстремумов блеска. Для определения периода вращения спутника, равного удвоенному периоду изменения его блеска, целесообразно проводить систематические определения моментов максимумов и минимумов блеска визуальным и фотографическим способами.

Простейший из визуальных методов, позволяющий получить моменты максимумов и минимумов блеска, таков: наблюдатель диктует секретарю или записывает на магнитофон условные «оценки блеска» — «с—с—с—с — пост пост—я—я—я—я пост—пост—с—с—с—с» и т. д. в зависимости от того, становится ли блеск спутника слабее («с»), ярче («я») или остается некоторое время постоянным («пост»). Одновременно отмечаются соответствующие моменты. Этот способ предназначен для уточнения положения максимума или минимума блеска на относительно условной кривой блеска.

Определение экстремумов блеска можно производить непосредственно в системе звездных величин с одновременной фоторегистрацией координат и регистрацией моментов определения блеска с помощью секундомера и выверенных часов.

Определение моментов экстремума блеска по фотографии. При помощи светосильной аэрофотокамеры производится фотографирование достаточно яркого ИСЗ. Полученные снимки обрабатываются на микрофотометре (например, МФ-2). Ориентирование негатива на микрофотометре соответствует ориентированию вдоль оси абсцисс изображения пути объекта. Производятся определения оптической плотности почернения через определенные интервалы: вблизи максимумов и минимумов чаще (через 0,05—0,1 *мм*), а в других — реже.

В избранном масштабе строится график зависимости величины почернения s от длины пути x и график зависимости вре-

мени t от x. По известной длине пути x и по известным моментам перерывов в экспозиции объекта по графикам определяются моменты максимума блеска объекта с точностью порядка $\pm 0^s,1$.

Для определения экваториальных координат объекта α, δ в моменты максимумов блеска, видимый путь объекта наносится (после отождествления звезд сравнения на негативе) на карты звездного атласа. С учетом введения поправки в α за суточное вращение небесной сферы точность определения α, δ равна примерно $0^m,1$ и $0°,1$ соответственно.

Фотографические наблюдения ИСЗ. При отсутствии специальных спутниковых камер фотографические наблюдения ИСЗ возможны с малоформатными камерами типа «Ленинград», «Киев», «Зоркий», «Зенит-С», «ФЭД». Основные достоинства способа: документальность, оперативность, точность не ниже, чем при визуальных наблюдениях; особо эффективен он при наблюдениях низких и ярких спутников (до $m \leqslant 4-6$). Пленки применяются высокочувствительные.

Содержание способа: 1) получение на негативе изображения видимого пути ИСЗ среди звезд в виде ряда отдельных точек или штрихов; 2) получение на том же негативе изображений ряда опорных звезд для привязки к ним положений ИСЗ; 3) регистрация и вычисление моментов времени нахождения ИСЗ в определенных точках изображения его следа на негативе; 4) определение экваториальных координат объекта относительно опорных звезд.

Эффективное время экспозиции спутника

$$t_{эф} = d : \omega \cdot F,$$

где d — диаметр изображения объекта на негативе, F — фокусное расстояние камеры, ω — видимая угловая скорость ИСЗ в *рад/сек*.

Цель фотонаблюдений ИСЗ с помощью малоформатных камер: 1) приближенное определение экваториальных координат ИСЗ для эфемеридной Службы спутников при условии ускоренной обработки негатива с точностью, не уступающей точности визуальных наблюдений; 2) использование негативов для фотометрии ИСЗ (определение блеска и его изменения во времени).

Подготовка к наблюдениям. На звездную карту (глобус) наносится эфемеридная трасса ИСЗ. Выбираются ориентировочно районы фотографирования с характерными конфигурациями звезд. Фотокамера устанавливается на штативе теодолита и соединяется линией связи со Службой времени. Для удобства и быстроты нацеливания, а также для уверенного отождествления района фотографирования со звездной картой установка снабжается самодельными разделенными кругами по азимуту и высоте. Деления от 0 до 360° по азимуту и от 0 до

90° по высоте оцифровываются через 10°. Перед наблюдениями круги азимута и высоты ориентируются по Полярной или мире с известными азимутом и высотой ($A = 0°$ — в точку севера). Проверяется линия связи (или завод и исправность секундомеров). Затвор объектива устанавливается на расчетную выдержку.

В зависимости от состояния неба и блеска ИСЗ можно использовать различные объективы. Если ожидается яркий объект, целесообразно произвести его съемку зеркальным объективом МТО-500 ($F = 500$ *мм*; 1 : 5,3). При засвеченном небе хорошо помогают поляризационные фильтры (поляроиды).

Достоин применения опыт оптической станции наблюдений ИСЗ при Вологодском пединституте (В. С. Лаговский и В Г. Непогодьев): наблюдения ИСЗ ведутся двумя спаренными фотоаппаратами, смонтированными на одной установке, крепящейся к треноге теодолита и снабженной кругами азимута и высоты.

Процесс наблюдений. При появлении ИСЗ в поле зрения камеры производится его фотографирование при полностью открытом объективе. Для прерывания непрерывного тонкого следа ИСЗ на пленке объектив на несколько секунд закрывается, затем снова открывается для более длительной экспозиции опорных звезд. Процесс фотографирования может быть повторен несколько раз в зависимости от времени нахождения объекта над горизонтом, условий наблюдений и квалификации наблюдателя.

Регистрация моментов открывания и закрывания затвора производится вручную при помощи выверенных секундомеров.

Повторное экспонирование звезд необходимо потому, что в короткий промежуток времени фотографирования ИСЗ вблизи него ярких звезд может не оказаться, а слабые на пленке не выйдут. Время звездной экспозиции выбирается в зависимости от чувствительности пленки (от 5^s и больше). Если объект переменного блеска, то, следя за ним в трубу, делают от руки одну или несколько коротких экспозиций в период около максимума блеска. Длительность спутниковой экспозиции $\Delta t_{ИСЗ}$ зависит от $\omega_{ИСЗ}$, чувствительности пленки, блеска объекта и характера его изменения; на практике $\Delta t_{ИСЗ}$ подбирается экспериментально в результате пробных наблюдений.

На хорошей камере и высокочувствительной пленке возможно получение следа спутника до 5—6, предельно до 6,5 звездной величины. За время одного прохождения объекта можно получить от 2—3 до 5—7 негативов в зависимости от видимой угловой скорости и блеска ИСЗ. На одном и том же негативе возможно получение до 3—5 прерывистых следов спутника (например, с камерой «Ленинград»).

Обработка. Определение координат и времени. Фотохимическая обработка пленки — обычная, ускоренная. След

спутника на негативе изобразится в виде тонкой длинной черты с перерывами в моменты закрывания объектива; следы звезд — короткие черточки. Выбираем карту атласа Бечваржа, соответствующую району фотографирования. Отождествляем участок фотографирования. Проектируем негатив через фотоувеличитель на звездную карту. Совмещаем группу опорных звезд на карте с их изображениями на негативе. После точного совмещения переносим штрих спутника на карту и снимаем для середины штриха координаты $\alpha_{ИСЗ}$, $\delta_{ИСЗ}$ с возможной точностью при помощи специальных прозрачных измерительных сеток (палеток).

Моменты наблюдений ИСЗ вычисляются как средние из моментов открывания $T_о$ и моментов закрывания $T_з$ затвора камеры, определяемых по хронографу (или секундомерам):

$$T_н = \frac{T_о + T_з}{2}.$$

Требуемая точность результатов (не грубее): $\pm 0^m,5$ — по α, $\pm 6'$ — по δ, $\pm 0^s,1$ — по T.

Весь процесс работы по одному объекту (от начала наблюдений до отправки результатов в Вычислительный центр) занимает в среднем около 2,5—3 часов.

Организация работы. Из рассмотренных видов оптических наблюдений ИСЗ наиболее доступными для отделений ВАГО и астрономических кружков являются визуальные и фотографические (малоформатными камерами) наблюдения относительно звезд, а наиболее трудными (в смысле организации) — наблюдения в горизонтальной системе координат. Для любого вида наблюдений нужна Служба времени, обеспечивающая определение моментов наблюдений с точностью $0^s,1$. Желательно наличие специальной астрономической площадки, отвечающей соответствующим требованиям.

Приняв решение о проведении определенного вида наблюдений, отделение ВАГО или кружок сообщает астрономической секции ЦС ВАГО избранную тему, материально-технические возможности, состав наблюдателей, координаты пункта наблюдений (для астрометрических наблюдений — с точностью порядка $0',1$ по φ, $0^s,5$ по λ и 1 *м* по H).

Все эти данные будут переданы в Астрономический совет АН СССР и Вычислительный центр «Космос». Астрономическая секция ЦС ВАГО окажет отделению всю необходимую помощь в организации наблюдений ИСЗ.

Эфемериды. Документация. Наиболее доступный способ обеспечения отделения ВАГО эфемеридами ИСЗ — это установление связи с ближайшей станцией Астросовета по оптическим наблюдениям спутников.

Результаты астрометрических наблюдений ИСЗ сообщаются по телеграфу в Вычислительный центр по международному

коду. Материалы исследований и фотометрических наблюдений высылаются по почте в адрес астрономической секции ЦС ВАГО или, по ее указанию, координатору соответствующей программы. Консультации по содержанию и методике научных наблюдений ИСЗ можно получить у автора настоящей инструкции (Рязань, 23, ул. Циолковского, д. 1, кв. 68) и у руководителей оптических станций Астросовета АН СССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. Под редакцией Дубошина Г. Н., «Наука», 1971, часть VI.
2. Астапович И. С., Каплан С. А., Визуальные наблюдения искусственных спутников Земли, Гостехиздат, 1957.
3. Каплан С. А., Как увидеть, услышать и сфотографировать искусственные спутники Земли, Физматгиз, 1958.
4. Курышев В. И., Курс астрономических наблюдений космических объектов, Воениздат, 1965.
5. Курышев В. И., Оптические наблюдения космических объектов, Воениздат, 1973.

§ 11. Инструкция для наблюдений полярных сияний

Общие сведения о полярных сияниях. *Полярные сияния* представляют собой свечение верхних разреженных слоев земной атмосферы, возникающее при вторжении в атмосферу потоков быстрых электрически заряженных частиц. Сталкиваясь с атомами и молекулами воздуха, эти частицы возвбуждают их и вызывают свечение атмосферы на высоте, как правило, от 100 до 1000 *км*.

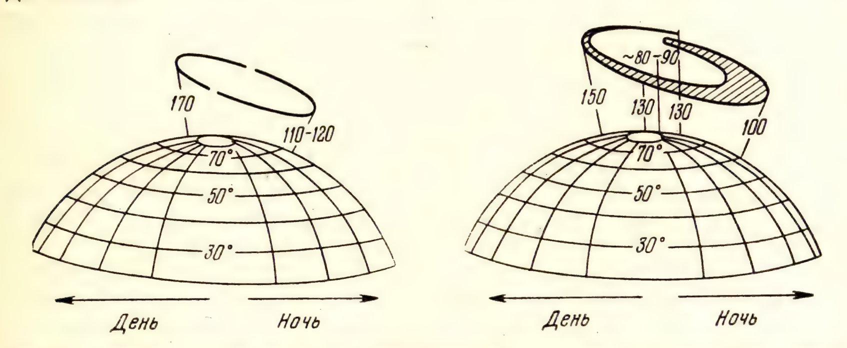


Рис. 174. Овалы полярных сияний над поверхностью Земли в магнитно-спокойные периоды (слева) и области в магнитно-возмущенные периоды (справа). Числами указана высота овала над поверхностью Земли в километрах.

Обычно полярные сияния наблюдаются не на всем земном шаре. Наиболее часто полярные сияния возникают в двух кольцевых зонах, окружающих оба полюса Земли (рис. 174). В ночные часы полярные сияния появляются в зените, главным образом на геомагнитных широтах, отстоящих от геомагнитных

полюсов приблизительно на 23° и называемых *зонами полярных сияний*. При благоприятных условиях сияния, возникающие на высоте около 100 *км*, могут быть видимы с расстояния до 1000 *км*, и поэтому на расстояниях в 15—30° от полюсов они могут наблюдаться почти каждую безоблачную ночь.

Положение зоны полярных сияний несколько меняется в зависимости от фазы солнечной активности. Так, в годы максимальной солнечной активности зона полярных сияний в СССР проходит севернее Кольского полуострова, через Новую Землю, южные районы полуострова Таймыр, между Новосибирскими островами и материком и далее через остров Врангеля.

В годы минимума солнечной активности зона полярных сияний смещается на 2° к полюсу. Южнее этой зоны полярные сияния в ночные часы видны преимущественно в северной половине неба, а к северу от нее — в южной половине. Иногда сияния наблюдаются в зените не только в зоне сияний, но и вне ее.

Интенсивные полярные сияния появляются в тесной связи с другими геофизическими явлениями — магнитными бурями, нарушениями нормального состояния ионизованных слоев атмосферы и, как следствие этого, с нарушениями радиосвязи на коротких волнах. В период магнитных бурь полярные сияния появляются в средних и низких географических широтах, а при наиболее сильных бурях — даже на земном экваторе.

В высоких географических широтах, где полярные сияния происходят регулярно, основным способом их изучения является систематическое фотографирование всего неба. Но и визуальные наблюдения дают ценную информацию, так как позволяют отмечать быстрые пульсации в интенсивности сияний и быстрые движения внутри них, а диффузные формы сияний (пятна и вуаль) вообще с трудом различаются на фотографиях. Поэтому визуальные наблюдения являются необходимым и весьма важным дополнением к фотографическим наблюдениям. В средних и низких географических широтах, где полярные сияния появляются относительно редко, единственным источником информации о них служат визуальные наблюдения.

Классификация полярных сияний, их описание и условные обозначения. Формы и структура полярных сияний обозначаются буквами латинского алфавита, которые обязательны при записи наблюдений (рис. 175).

Формы полярных сияний. По современной классификации полярные сияния подразделяются на три группы: лентообразные, диффузные и лучи.

К лентообразным сияниям относятся *дуги* (A) и *полосы* (B). Дуги имеют вид арки (или части арки) с правильным, обычно резко очерченным нижним краем. Иногда дуги тянутся через весь небосвод. Одновременно может быть видно несколько параллельных дуг. Если нижний край сияния неправильный и

содержит изгиб или складку, то форма называется полосой. Дуги и полосы бывают широкими и узкими. Полосы подвижнее, чем дуги. Окраска дуг и полос чаще всего зеленоватая, причем нередко нижний край их окрашен в красный цвет.

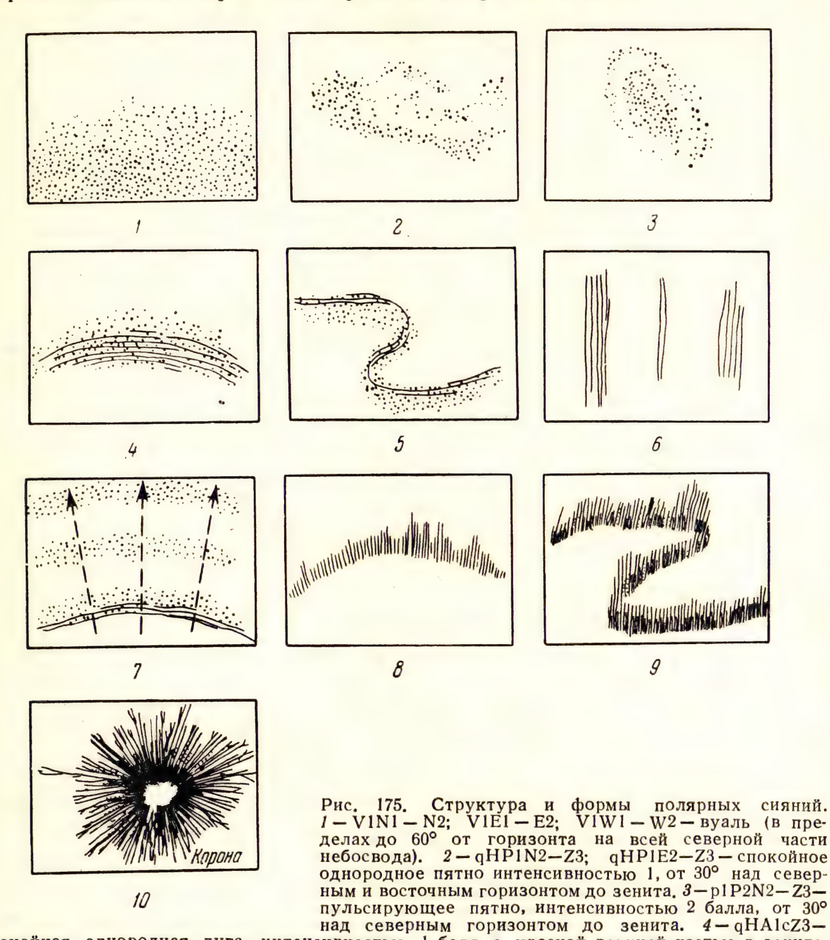


Рис. 175. Структура и формы полярных сияний. *1* — V1N1 — N2; V1E1 — E2; V1W1 — W2 — вуаль (в пределах до 60° от горизонта на всей северной части небосвода). *2* — qHP1N2—Z3; qHP1E2—Z3 — спокойное однородное пятно интенсивностью 1, от 30° над северным и восточным горизонтом до зенита. *3* — p1P2N2—Z3 — пульсирующее пятно, интенсивностью 2 балла, от 30° над северным горизонтом до зенита. *4* — qHA1cZ3 — спокойная однородная дуга интенсивностью 1 балл с красной верхней частью в зените. *5* — qHB2S2 — Z3 — спокойная однородная полоса, интенсивностью 2 балла, от 30° над южным горизонтом до зенита. *6* — aR_2R2N1—Z3 — активные длинные лучи. интенсивностью 2 балла, от северного горизонта до зенита. *7* — $ap_2HA4eN2$—Z3 — активное, пламенное сияние в виде однородной дуги, интенсивностью 4 балла, голубое; располагается от 30° над северным горизонтом до зенита. *8* — aR_1A2Z3 — активная лучистая дуга (с короткими лучами), интенсивности 2 балла; располагается в зените. *9* — aR_1B3dZ3 — активная лучистая полоса, интенсивности 3 балла, с красной нижней частью, в зените. *10* — acR_2R3dZ3 — активная корона из длинных лучей, интенсивностью 3 балла, с красной нижней частью, в зените.

Диффузные формы имеют вид *пятен* (P) и *вуали* (V). Свечение в виде пятна обычно имеет нечеткие края, часто походит на облако, освещенное Луной. Цвет пятен белесоватый, но может быть и темно-красным. Вуаль лишена определенной

формы, охватывает большую часть неба и может являться фоном для других форм сияний.

Лучи (R). Изолированный луч представляет собой узкий пучок света. Форма состоит из отдельных изолированных лучей либо из пучка лучей, расположенных тесно друг к другу, либо из группы разбросанных лучей. Весьма часто лучи наблюдаются одновременно с другими формами сияний. Цвет лучей обычно зеленоватый, хотя короткие лучи могут быть целиком или частично красного цвета.

Неотождествленные формы (N). Нередко наблюдатель не может определить формы сияний в силу плохих условий наблюдений (облачность, Луна, сумерки и др.). Иногда отождествляемая часть формы располагается под горизонтом и видна только верхняя часть свечения (в прежней классификации эта форма определялась как «свечение у горизонта»). Во всех случаях, когда форма сияния не отождествляется, употребляется символ N.

Структура полярных сияний. Классификация предусматривает три типа структуры полярных сияний: однородная (H), волокнистая (S), лучистая (R).

Однородным (H) сияние считается в том случае, если в нем отсутствует внутренняя структура свечения и оно имеет вид однородного, без видимых лучей, светящегося образования. Если яркость сияния изменяется во времени, то сразу по всему сиянию. К таким формам принадлежит, например, однородная дуга (HA) или однородная полоса (HB); обычно они имеют желто-зеленый цвет; нижний их край иногда бывает красным.

Волокнистая (S) или бороздчатая структура: сияние состоит из слегка неправильных тонких волокон или борозд, идущих параллельно нижнему краю.

Эта структура наблюдается обычно у сияний вблизи зенита. К такой структуре, например, принадлежит бороздчатая полоса (SB).

Лучистая (R) структура характерна тем, что сияние состоит из многих тесно примыкающих друг к другу отдельных лучей. К такой структуре относятся лучистая дуга (RA), лучистая полоса (RB) или отдельные лучи (RR). В последнем случае символ R повторяется, что необходимо для сохранения однородности употребления символов.

При записи лучистой структуры необходимо учитывать длину луча. Она отмечается цифровым индексом у буквы R, характеризующей структуру сияния: R_1 — короткие лучи, длина которых примерно соответствует обычной длине луча в дуге или полосе; R_2 — длинные лучи, часто протягивающиеся от зенита до горизонта.

Короткие лучи (R_1) обычно бывают ярче вблизи нижнего края, и их яркость быстро затухает с высотой. Длинные лучи

(R_2), как правило, однородны по яркости, но их свечение слабее, чем у коротких лучей.

Для детализации структуры сияния вводятся дополнительные обозначения:

1) символ кратности ($m_2, m_3, \ldots$), вводится при появлении двух или более параллельных форм одного вида (например, символ m_2HB обозначает две близко расположенные однородные полосы);

2) символ короны (c) применяется при появлении в зените лучей в виде веера, напоминающего корону. Однородные формы, расположенные вблизи зенита, также могут иметь вид короны (например, cHA или cHP).

Состояние активности. Состояние активности характеризует поведение отдельной формы или всего явления во времени. Для характеристики активности вводятся символы, предшествующие при записях всем другим символам:

q — спокойная форма: положение и форма полярного сияния изменяется очень слабо и медленно. Так, например, символ qR_2R обозначает спокойные длинные лучи, сохраняющиеся без изменений от 10 минут до 1 часа; символ qHA характеризует спокойную однородную дугу, которая может оставаться неизменной в течение часа или даже нескольких часов, лишь очень медленно смещаясь по небосводу;

a — активная форма: форма сияния быстро изменяется во времени; обычно активные формы — наиболее яркие.

P1 — пульсации: довольно быстрые ритмические колебания яркости с периодом от долей секунды до нескольких минут.

P2 — редкий вид пульсаций, одновременно происходящих на большой площади неба. Явление протекает в виде волн света, вздымающихся вверх одна за другой. Эти пульсации появляются обычно в поздней стадии яркого и активного сияния, в момент его максимального развития. Раньше эта форма считалась самостоятельной и называлась «пламенным сиянием».

Яркость. При определении яркости или интенсивности сияний принимается во внимание максимальная интенсивность в данной форме и используется следующая шкала:

1. Слабое сияние: яркость сравнима с яркостью Млечного Пути.
2. Среднее по интенсивности сияние: яркость сравнима с яркостью перистых облаков, освещенных Луной.
3. Яркое сияние: яркость сравнима с яркостью кучевых облаков, освещенных Луной.
4. Очень яркое сияние: яркость много больше, чем 3; в предельном случае очень яркое сияние может создать освещенность на Земле, сравнимую с освещенностью от полной Луны.

Цвет сияния. Наиболее часто встречающиеся цвета — белый, зеленоватый и желтоватый — отмечать не нужно. Цвет фиксируется лишь при его отличии от обычного следующими симво-

лами: a — красный; b — красный и зеленый; c — красная только верхняя часть сияния; d — красная только нижняя часть сияния; e — голубой; f — фиолетовый.

Положение сияния на небе. Положение полярного сияния на небе определяется азимутом и высотой над горизонтом его нижнего края.

Азимут обозначается по четырем секторам (румбам): N, E, S, W (геомагнитный север, восток, юг, запад). Секторы N и S ориентированы на геомагнитный меридиан и охватывают углы в 60° (по 30° в обе стороны от геомагнитного меридиана); секторы E и W — по 120° (по 60° в обе стороны от направления к геомагнитному востоку и западу).

Направление геомагнитного меридиана с точностью до 5° можно определить по направлению географического меридиана (полуденной линии) и поправке, указанной в табл. XXVIII.

Таблица XXVIII

Отклонение геомагнитного меридиана от географического меридиана (полуденной линии) *)

Долгота	Широта										
	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
10°	−15°	−15°	−15°	−20°	−20°	−20°	−25°	−30°	−35°	−45°	−60°
20	−15	−15	−15	−15	−20	−20	−20	−30	−35	−40	−50
30	−15	−15	−15	−15	−20	−20	−20	−25	−30	−35	−45
40	−10	−15	−15	−15	−15	−20	−20	−25	−25	−30	−40
50	−10	−10	−15	−15	−15	−15	−20	−20	−25	−30	−35
60	−10	−10	−10	−15	−15	−15	−15	−20	−20	−25	−30
70	−10	−10	−10	−10	−10	−10	−15	−15	−20	−20	−25
80	−5	−10	−10	−10	−10	−10	−10	−10	−15	−15	−15
90	−5	−5	−5	−5	−5	−5	−5	−10	−10	−10	−10
100	0	−5	−5	−5	−5	−5	−5	−5	−5	−5	−5
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5
130	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+10	+10	+10	+10
140	+5	+5	+5	+5	+10	+10	+10	+10	+10	+15	+15
150	+5	+5	+10	+10	+10	+10	+15	+15	+15	+20	+20
160	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+15	+15	+20	+25	+25
170	+10	+10	+10	+15	+15	+15	+15	+20	+20	+25	+35
180	+10	+10	+15	+15	+20	+20	+20	+25	+25	+30	+40
190	+15	+15	+15	+20	+20	+20	+25	+25	+30	+35	+45

*) Знак минус соответствует отклонению северного конца геомагнитного меридиана к западу (влево) от северного конца географического; знак плюс — к востоку (вправо) от него.

Высота нижнего края сияния определяется по дуге от горизонта до зенита (по кругу высоты), которая на глаз делится на три части, условно обозначаемые: 1 — от горизонта до

высоты в 30°; 2 — от 30° до 60° над горизонтом; Z3 — от 60° над горизонтом до зенита.

Положение сияния записывается в конце всех остальных характеристик. Например, запись aR_2B2aN2 означает, что активная лучистая полоса, с длинными лучами интенсивностью два, красного цвета, располагалась в секторе северного направления геомагнитного меридиана, на высоте от 30 до 60° над горизонтом. Запись qHP1S2—Z3 означает, что спокойное однородное пятно, интенсивностью единица, обычного цвета, располагалось в южном секторе на высоте от 30° до зенита. Для сияний в зените азимут не указывается. При наличии на небосводе нескольких форм все они должны быть занесены в бланк наблюдений.

Высота лентообразных и лучистых форм полярных сияний определяется по нижней границе сияния. Для диффузных форм (P и V) указывается интервал по высоте (1—2 означает расположение сияния от горизонта до высоты в 60°). Если какая-либо форма переходит через зенит (например, вуаль тянется от северного горизонта до высоты в 30° над южным горизонтом), то производятся две записи: V1N1—Z3; V1S2.

При перемещении сияния указывается словами место (азимут и высота), к которому оно движется.

Облачность. В пунктах, расположенных на широте 65° и севернее, при отсутствии сияний необходимо указывать значение облачности: малооблачно (до трех баллов), умеренная облачность (4—6 баллов) и сильная облачность (более 6 баллов). Отметка об облачности проставляется рядом с записью об отсутствии сияния.

Записи наблюдений. Записи наблюдений полярных сияний выполняются в следующей последовательности: сначала делается запись структуры и формы, затем слева от нее записывается активность и детализация общего вида, и, наконец, справа от формы отмечается яркость, цвет, азимут и высота.

Все используемые для описания сияний обозначения (символы) сведены в табл. XXIX, которую при проведении наблюдений необходимо помещать на видном месте и по ней проверять правильность применяемых символов и порядок их расстановки.

Примеры использования символов.

1. acR_2B3bN1 — активная (a), в форме короны (c), лучистая полоса (R_2B) с длинными лучами, яркость 3, цвет красно-зеленый (b), в секторе северного направления геомагнитного меридиана (N), на высоте до 30° над горизонтом (1).

2. qm_2HB1N2 — спокойная двойная однородная полоса, интенсивности один, обычного цвета, в секторе северного направления геомагнитного меридиана, на высоте от 30 до 60° над горизонтом.

3. qcHA1E2-Z3 — спокойная однородная дуга в виде короны, обычного цвета, интенсивности один, в секторе геомагнитного востока, на высоте более 30° до зенита.

Таблица XXIX

Сводная таблица символов

Состояние активности	Обозначения, детализирующие характер сияния в целом	Структура	Форма	Яркость	Цвет	Азимут	Высота над горизонтом
1	2	3	4	5	6	7	8
q — спокойное	m_2 — двухкратная	H — однородная	A — дуга	1 — слабое	a — красный	N — ±30° от севера	1 — от горизонта до 30° над ним 2 — от 30° до 60° над горизонтом
a — активное	m_3 — трехкратная	S — волокнистая	B — полоса	2 — среднее	b — красный и зеленый		
P1 — пульсирующее	c — корона	R1 — лучистая, короткие лучи	P — пятно	3 — яркое	c — красная верхняя часть	E ±60° от востока	Z3 — от 60° над горизонтом до зенита
P2 — пламенное		R2 — лучистая, длинные лучи	V — вуаль	4 — очень яркое	d — красная нижняя часть	S ± 30° от юга	
			R — луч		e — голубой		
			N — неотождествленная форма		f — фиолетовый	W ±60° от запада	

4. aP2HB4eZ3 — активное, очень яркое пламенное (пульсирующее) сияние в виде однородной полосы, голубое, располагается в зените.

5. aR_2R2W1 — активный длинный луч (R_2 — структура, R — форма), интенсивности два, обычного цвета, в секторе геомагнитного запада, нижняя граница в пределах 30° над горизонтом.

6. qm_3SB2S2 — спокойная многократная бороздчатая полоса, интенсивность 2, обычного цвета, в южном направлении геомагнитного меридиана, на высоте от 30 до 60° над горизонтом.

Организация и проведение наблюдений полярных сияний. Руководство наблюдениями осуществляет ИЗМИРАН — Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения волн Академии наук СССР. Адрес института: телеграфный — Москва, ИЗМИРАН; почтовый — почтовое отделение Академический городок, Московской области, ИЗМИРАН.

Для унификации записей наблюдений полярных сияний наблюдателям рассылаются специальные бланки, на которых ведутся записи наблюдений.

Бланк

визуальных наблюдений полярных сияний в..............м-це 197.....г.

Станция ....
(название)

Широта..........................   Долгота..........................

Время наблюдений		
дата	время московское	
фев. 21	17—20	Сияний не отмечено. Малооблачно
	21	qm_2HA1N2
	22	aR_1B3cS2; aR_2R2N1
	23	acR_2B4eS2;
	24	V1W1 — Z3
	0—7	Сияний не отмечено. Малооблачно
фев. 22	17—7	Сияний не отмечено. Малооблачно
фев. 23	17—20	Сияний не отмечено. Умеренная облачность
	20—07	Сияний не отмечено. Сильная облачность

Наблюдения следует проводить с начала вечерних и до конца утренних сумерек (во время полярной ночи — круглосуточно) с одного и того же места, с возможно более открытым горизонтом в направлении на север и на юг. Рекомендуется организация коллективных наблюдений, что обеспечит их непрерывность. Наружное освещение, если оно мешает наблюдениям, должно, по возможности, выключаться.

Наблюдения проводятся в следующей последовательности. Сначала внимательно осматривается небо, чтобы установить на-

личие сияния. Если сияние не обнаруживается, то наблюдатели, находящиеся на географической широте меньшей 65°, никаких отметок в бланках не делают. Наблюдатели же, находящиеся на широте 65° и более высокой, в подобном случае оценивают влияние посторонних факторов, затрудняющих поиски сияния, — Луны (в полнолуние), облачности, снегопада, метели и т. п. Если небо безоблачно или покрыто редкими облаками с просветами, а лунный и сумеречный свет не сильно мешают наблюдениям, то отмечается время наблюдений, делается запись «сияний не отмечено» и рядом проставляется оценка облачности. При наличии сияний записи в бланках проводятся раздельно для каждого наблюдения. Объединение записей нескольких наблюдений недопустимо, если даже сияние не изменяется на протяжении длительного времени. При отсутствии сияния можно объединять записи соседних сроков наблюдений до тех пор, пока не появилось сияние. При записи следует строго соблюдать порядок расстановки символов.

Наблюдатели должны стараться, по возможности, выявить и записать все видимые формы сияний. Если на небосводе имеются сияния в различных румбах, то запись следует начинать с сияний, видимых в направлении геомагнитного меридиана. Если же лентообразное сияние наблюдается одновременно в нескольких румбах, включая геомагнитный меридиан, то отмечается только румб геомагнитного меридиана.

При обилии форм во время интенсивных сияний преимущество отдается наиболее ярким формам, а также формам, находящимся в зените и в направлении геомагнитного меридиана. Записи перемещений могут быть в этих случаях ограничены только наиболее характерными, т. е. резко заметными.

Наблюдатели, располагающиеся в зоне полярных сияний, обязаны обращать особое внимание на наличие облачности в зените; наблюдатели, находящиеся южнее этой зоны — на облачность в северной части неба, а севернее зоны — на облачность в южной части неба. В тех случаях, когда сияния видны в просветах между облаками, но определить их форму и точное положение на небе невозможно, отмечается время наблюдений, а форма сияния обозначается буквой N.

Все записи наблюдений ведутся на черновом бланке, а затем переписываются начисто в бланк, предназначенный для отправки в ИЗМИРАН. Чистовые бланки аккуратно заполняются тушью или темными чернилами, так как они будут сдаваться в Мировой геофизический центр для фотокопирования и международного обмена. Образец заполнения бланка приведен на стр. 472. В графе «Время наблюдений» месяц записывается тремя первыми буквами, а дата — календарной датой по московскому времени. Пользование другими системами времени категорически запрещено, чтобы не вызывать путаницы при обработке наблюдений.

При записях во время наблюдений рекомендуется пользоваться фонариком с красным стеклом, чтобы не терять времени на адаптацию глаз.

Наблюдатели, имеющие регулярную почтовую связь, направляют бланки с записями наблюдений в ИЗМИРАН в течение первой декады каждого месяца. Остальные наблюдатели отсылают их при первой возможности или по окончании сезона наблюдений. Из пунктов, расположенных южнее 65° с. ш., отчетные бланки посылаются только за те месяцы, в которые было хотя бы одно сияние. Если сияний не наблюдалось, то в ИЗМИРАН посылается сообщение об их отсутствии. Из пунктов, расположенных на широте 65° и севернее, отчетные бланки посылаются ежемесячно. При отсутствии сияний в бланках должны быть заполнены графы времени наблюдений и облачности за каждые сутки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чемберлен Дж., Физика полярных сияний и излучения атмосферы, ИЛ, 1963.
2. Исаев С. И., Морфология полярных сияний, «Наука», 1968.
3. Исаев С. И., Фельдштейн Я. И., Наблюдения полярных сияний. Инструкция к МГСС, ВИНИТИ, 1964.

§ 12. Инструкция для наблюдений серебристых облаков

Серебристые облака представляют собой явление, природа которого остается еще не разгаданной. Их характерной особенностью является то, что они наблюдаются только в сравнительно узких широтных поясах северного и южного полушарий. В северном полушарии пояс распространения серебристых облаков ограничивается в среднем широтами 50—75 *). В южном полушарии подобный пояс находится, по-видимому, в более низких широтах (40—60°). Попытки обнаружить эти облака над другими широтами пока не дали положительных результатов.

Серебристые облака появляются только в теплое время года, с мая по август, с редкими случаями появлений в апреле и сентябре. Наибольшая частота появлений серебристых облаков приходится на июль.

Общее количество появлений серебристых облаков в течение сезона из года в год не остается постоянным, но колеблется, достигая изредка 20—30 случаев для одного района.

Науке серебристые облака стали известны с 1885 г., когда на них почти одновременно и независимо друг от друга обратили внимание В. К. Цераский в России и О. Иессе в Германии. Определения высот серебристых облаков показали, что их вы-

*) Пояс распространения серебристых облаков следует отличать от пояса их наблюдения, который в северном полушарии ограничен широтами 45—70°.

сота в среднем равна 80—85 *км*. С 30-х годов XX столетия началось систематическое изучение серебристых облаков в ряде стран (СССР, Норвегия, США, Германия). В самое последнее время в связи с быстрым развитием физики верхних слоев атмосферы Земли проблема серебристых облаков приобрела актуальное значение. Наметилась программа ближайших исследований, состоящая из четырех основных тем:

1 тема. Изучение географического распространения и сезонной частоты появлений серебристых облаков для района данного наблюдательного пункта.
2 тема. Изучение изменений высоты слоя серебристых облаков в целом и отдельных его участков в зависимости от времени суток, сезона и географического положения.
3 тема. Изучение движений серебристых облаков.
4 тема. Изучение оптических свойств серебристых облаков.

Ниже мы остановимся на описании наблюдений, связанных с изучением основных вопросов данной программы.

I. Наблюдения частоты появлений серебристых облаков. Систематические наблюдения появлений серебристых облаков имеют большую научную ценность для изучения общей циркуляции атмосферы Земли и других физических процессов, происходящих в верхних слоях нашей атмосферы.

Для проведения этих наблюдений не нужно специальных приборов, кроме какого-либо простейшего угломерного инструмента. Ценность наблюдений может значительно повыситься при наличии фотоаппарата.

Главным и необходимым условием при наблюдениях серебристых облаков является регулярность ежедневных осмотров утреннего и вечернего сумеречного неба. Тогда наблюдатель привыкает к тонкой игре красок и другим проявлениям сумерек, а также легче распознает всякие происходящие в них изменения. Это особенно важно для обнаружения серебристых облаков малой яркости или в сложных условиях их наблюдения (значительная облачность, слишком ранние или поздние сумерки, наблюдение с самолета и т. п.).

Патрульные наблюдения необходимо вести всем наблюдателям, желающим изучать те или иные свойства серебристых облаков. Наблюдения любителей в данном случае являются наиболее эффективными для науки.

Благодаря большой своей высоте серебристые облака видны с расстояния до 900—1000 *км*. Этими значениями определяется «радиус действия» каждого наблюдательного пункта. Но для охвата всего пояса возможного появления серебристых облаков необходимо иметь много наблюдательных точек с участием возможно большего числа наблюдателей. Первые опыты наблюдений с помощью организованной сети многих наблюдательных

пунктов для патрулирования серебристых облаков проводились в период Международного геофизического года (1957—1959 гг.).

Морфологическая классификация серебристых облаков. Серебристые облака имеют специфическую морфологию (структуру), внешне отличную от всех более низких облаков. Классификация морфологических форм серебристых облаков разделяет их на четыре основных типа.

Тип I. *Флер.*

Это наиболее простая форма серебристых облаков (рис. 176). Отдельно, при отсутствии других форм, флер может заметить



Рис. 176. Серебристые облака типа I. Флер.

только опытный наблюдатель по тонким признакам почти однородного свечения отдельных участков фона сумеречного неба. Однако, заполняя пространство между деталями другого типа, т. е. находясь на фоне более сложных форм, пелена флера очень хорошо обнаруживается благодаря своему туманообразному строению с нежно-белым или голубоватым оттенком. Флер часто предшествует (приблизительно за полчаса) появлению серебристых облаков с более развитой структурой. Часто можно наблюдать, как гребешки и другие детали серебристых облаков появляются в разрывах флера или просвечивают сквозь него.

Тип II. *Полосы.*

Группа а (II-a). Размытые полосы, расположенные группами, параллельные друг другу или переплетающиеся между

собой под небольшим углом. Иногда одна из таких полос наблюдается отдельно, с течением времени полосы мало изменяются по форме (рис 177). Такие размытые малоподвижные полосы часто составляют структуру всего поля или господствуют над другими формами, особенно при небольшой яркости и площади распространения серебристых облаков. В тех случаях, когда полосы расположены в направлении луча зрения наблюдателя, отмечается явление перспективной радиации этих полос, т. е. полосы как бы расходятся веером из одной удаленной точки, расположенной на горизонте (точка радиации).



Рис. 177. Серебристые облака типа II-а. Полосы.

Группа б (II-б). Полосы, резко очерченные наподобие узких струек, наблюдаются в основном у серебристых облаков с большой яркостью и при наличии других хорошо развитых форм (рис. 178). Такие полосы (струи) иногда разветвляются на несколько более узких полос. Встречаются струи и в стороне от основного поля серебристых облаков.

Тип III. *Гребешки.*

Группа а (III-а). *Гребешки* — участки с частым расположением узких, резко очерченных, параллельных, обычно коротких полос наподобие легкой ряби на поверхности воды при слабом порыве ветра. Благодаря небольшому расстоянию между соседними полосами, которые составляют гребешки, ребристая поверхность последних для невооруженного глаза имеет почти равномерную яркость (рис. 179).

Группа б (III-б). *Гребни* имеют более четко выраженное неравномерное распределение яркости в поперечном направлении



Рис. 178. Серебристые облака типа II-б. Полосы.

Рис. 179. Серебристые облака типа III-а. Гребешки.

с хорошо заметными признаками волновой природы этих образований. Видимое расстояние между соседними гребнями в несколько раз больше, чем у гребешков. Гребни часто располагаются между полосами в поперечном направлении (рис. 180). Тогда часть светящейся массы полос перестраивается на образование гребней. Встречаются гребни и на краю поля серебристых облаков. Группируясь, гребни образуют в этом случае форму птичьего пера.



Рис. 180. Серебристые облака типа III-б. Гребни.

Группа в (III-в). *Волнообразные изгибы* светящейся поверхности серебристых облаков. Изгибы не составляют индивидуальной формы, они образуются за счет искривления поверхности, занятой другими формами (полосами, гребешками). Подобные изгибы встречаются в серебристых облаках, имеющих большую площадь распространения. Изгибы имеют четко выраженный волновой (фазовый) характер движения (см. рис. 179). Расстояние между соседними гребнями воздушных волн, вызывающих изгибы поверхности серебристых облаков, меняется для ряда случаев в широких пределах.

Тип IV. *Вихри.*

Группа а (IV-а). Завихрения и круглые просветы с малым радиусом (0°,1—0°,5). Завихрениям подвергаются полосы (II), гребешки (III) и иногда флер (I). Степень завихрения детали меняется от десятков градусов к первоначальному направлению до полного скручивания в кольцо с темным пространством в середине, которое иногда из-за внешнего сходства называют «лунным кратером» (рис. 181).

Группа б (IV-б). Завихрение в виде простого изгиба одной или нескольких полос в сторону от основного направления с радиусом в 3—5°. Завихрения часто образуются в серебристых облаках, имеющих полосчатое и струйчатое строение (II-а, II-б, иногда III-б), сохраняя направление движения полосы, образовавшей вихрь.

Группа в (IV-в). Мощные вихревые выбросы светящейся материи в сторону от основного облака. Это редкое образование в серебристых облаках характерно быстрой изменчивостью своей



Рис. 181. Серебристые облака типа IV-а. Вихри.

формы. Крупные завихрения, образуясь в районе расположения других форм, обычно существенно перестраивают и усложняют динамику поля серебристых облаков (ср. рис. 180 и 181).

Внешний вид некоторых форм этой классификации, а в отдельных случаях и механизм развития имеют сходство с отдельными видами обычных облаков. Так, I тип (флер) внешне напоминает облака перистослоистой формы с туманообразной структурой; II и III типы сравнимы с волнистыми формами перистых облаков.

Условия появления и внешний вид серебристых облаков. Серебристые облака плавают на очень большой высоте, поэтому они подсвечиваются Солнцем, довольно глубоко опустившимся под горизонт. В это время все другие облака уже не освещаются Солнцем и видны на фоне сумерек как темные силуэты (см. рис 177).

Наилучшие условия видимости серебристых облаков — период так называемых навигационных сумерек, когда Солнце опу-

стилось под горизонт наблюдателя на 6—12°. В это время на слабо освещенном фоне сумеречного неба легко обнаруживаются жемчужно-серебристые массы светящихся облаков. Серебристые облака малой и умеренной яркости лучше всего видны под небольшим углом к их поверхности, т. е. невысоко (5—15°) над горизонтом, но в непосредственной близости к горизонту (1—3°) их яркость значительно снижается поглощением в земной атмосфере.

В период астрономических сумерек (отрицательная высота Солнца — $h_{\odot} = 6—18°$) сумеречное небо занимает только небольшую часть небосвода и ограничено дугой, образуя сумеречный сегмент, который граничит с неосвещенной, ночной частью неба. В азимуте Солнца у горизонта яркость сумерек наибольшая. Границы сумеречного сегмента являются границами освещения, а следовательно, и видимости серебристых облаков. Вечером, с опусканием Солнца под горизонт, уменьшается площадь сумеречного сегмента, и соответственно этому перемещается к горизонту граница видимости серебристых облаков. К утру все это повторяется в обратном порядке. Часто можно наблюдать также естественную границу поля серебристых облаков, занимающих только некоторую часть сумеречного неба.

С помощью бинокля или зрительной трубы с большим полем зрения (бинокуляр, теодолит и т. п.) эти облака могут быть обнаружены на 20—30 минут раньше, чем невооруженным глазом. Появление особенно ярких облаков может быть обнаружено опытным наблюдателем и при небольшом погружении Солнца под горизонт ($-h_{\odot} = 4—5°$). К утру яркие облака также могут прослеживаться иногда почти до самого восхода Солнца ($-h_{\odot} = 3—4°$) в менее яркой стороне неба (в зените или даже в южной части его).

Но, как правило, серебристые облака могут наблюдаться в период погружения Солнца под горизонт от 6 до 18°. По табл. 23 и 24 отдела «Таблицы» наблюдатель может определить для своего пункта время начала и конца этого периода. В случае появления ярких серебристых облаков с хорошо развитой морфологической структурой распознать их довольно легко, а иногда они просто привлекают к себе внимание необычностью вида и света.

Серебристые облака малой яркости и с плохо развитой структурой обнаружить и отличить от обычных облаков значительно труднее. Так же трудно их отличить, когда присутствует только одна форма I или II типа, при небольшой площади их распространения и при частичной облачности, особенно в просветах высоких перистых облаков, которые при небольшом погружении Солнца под горизонт ($-h_{\odot} = 5 — 6°$) также подсвечиваются или прямыми лучами Солнца или рассеянным светом сумеречного неба. Здесь очень полезны навык и сообразительность

наблюдателя. Факт обнаружения серебристых облаков имеет большое значение, но нужно остерегаться ошибочного отождествления обычных тропосферных облаков с серебристыми.

В сомнительных случаях нужно по таблице проверить, имеются ли необходимые условия освещения, обратить внимание на положение сумеречного сегмента, наличие других типов облаков и их вид на фоне сумерек, присутствие искусственного освещения или Луны, иногда замаскированной земными предметами или находящейся неглубоко под горизонтом. Затем необходимо внимательно проследить за движением и особенностями морфологического строения наблюдаемых облаков. Обычные облака вскоре себя обнаружат характерной морфологией, более или менее быстрым движением всей массой, значительным или полным поглощением света закрываемых ими звезд. Эти облака более или менее хорошо видны как на фоне ночного, так и сумеречного неба. Только в первом случае они часто бывают ярче фона ночного неба (при подсветке Луной, сумерками и искусственным городским освещением), а во втором — темнее фона сумеречного сегмента.

Время существования серебристых облаков колеблется от нескольких минут до нескольких часов. Появление этих облаков не всегда совпадает с началом сумерек. Обычно они появляются внезапно в какой-либо части до того совершенно чистого и прозрачного сумеречного неба; затем могут распространиться по всему сумеречному небу и увеличить яркость, но могут и исчезнуть через несколько минут, не оставив после себя каких-либо заметных следов.

Период и режим наблюдений.

Наблюдения состоят в ежедневном патрулировании сумеречного неба. Время начала и конца наблюдений определяется, как уже было сказано, по таблице. Наилучшим методом является непрерывное наблюдение за фоном неба в течение всего периода сумерек. Тогда глаза наблюдателя, хорошо адаптированные к малым освещенностям, легче могут заметить признаки появления серебристых облаков.

Можно применять и периодические осмотры сумеречного сегмента через каждые 15 минут. В этом случае наблюдатель не сразу приступает к осмотру, а в течение нескольких минут дает возможность глазам приспособиться к сумеречному освещению. Необходимость адаптирования глаз имеет большое значение для своевременного обнаружения серебристых облаков малой и даже умеренной яркости.

Наиболее целесообразным способом освещения рабочего места и журнала записи наблюдений является применение фонаря с красным стеклом (фильтром), который концентрирует свет умеренной яркости только в необходимом направлении. В перерывах между наблюдениями желательно также находиться при умеренном красном или оранжевом освещении. Это способствует

обострению зрения наблюдателя. Хорошее зрение особенно важно для наблюдателя серебристых облаков.

В северном полушарии систематические наблюдения серебристых облаков желательно проводить с 1 марта по 31 октября. В этой работе принимают участие наблюдатели всех пунктов, расположенных в поясе широт от 45 до 70—75°.

В высоких широтах (начиная с 60°) в середине лета будет более или менее продолжительный перерыв в наблюдениях, так как Солнце там в это время не опускается под горизонт глубже 6° (см. табл. 23, 24 отдела «Таблицы»).

Наблюдательная площадка.

Наблюдательная площадка должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Выбранное место должно быть постоянным на весь период наблюдений.

2. Западная, северная и восточная части горизонта должны быть открытыми для наблюдений. Допускается, в крайних случаях, закрытие отдельных частей горизонта (удаленным лесом или строениями) до 2—3° по высоте над линией математического горизонта.

3. Желательно, чтобы рабочее место наблюдателя находилось в укрытии на случай ненастья (в башне обсерватории, специальном павильоне с окнами, открывающимися в сторону горизонта, и т. п.). С рабочего места должны хорошо просматриваться все стороны горизонта.

4. Наблюдательная площадка оборудуется столом для записи наблюдений, фонарем с красным стеклом и угломерным прибором (теодолитом с небольшим увеличением). Для измерения углов можно также использовать какой-либо простой, даже без оптики, угломерный прибор с визирами; точность измерения углов $\pm 0°,5$.

5. Наблюдателю необходимо иметь теплую одежду, так как ночью (особенно весной и осенью) часто происходит резкое понижение температуры.

В начале журнала (форма 1), в п. 4 (см. стр. 484) необходимо дать краткую, но ясную характеристику основных свойств наблюдательной площадки. Необходимо узнать, где находится наблюдатель (на поверхности Земли под открытым небом или на некотором возвышении — на балконе, крыше обсерватории и т. п). В последнем случае сообщается высота площадки над окружающей местностью в метрах. Некоторое возвышение (5—10 *м*) предпочтительно, так как в значительной степени освобождает наблюдателя от приземных туманов и росы. Сообщается также степень открытия горизонта и, особенно, его западной, северной и восточной частей.

Проведение патрулирования. В процессе ежедневного наблюдения сумеречного неба (с целью обнаружения серебристых облаков) через каждые 15 минут, независимо от

условий погоды, заполняется журнал по форме 1. Эта форма является основной, и ее ведение обязательно для каждого пункта.

Форма 1

Журнал патрулирования сумеречного неба и серебристых облаков

1. Наименование наблюдательного пункта (станция)..............................

....

2. Координаты: широта...долгота ....

3. Адрес пункта...

....

4. Характер наблюдательной площадки...

....

5. Дополнительные данные..

....

Дата	Время (декретное)	Серебристые облака			Метеорологические данные			Примечание
		наличие	яркость (по 5-балльной шкале)	присутствующие морфологические формы	закрытие сектора зари обычными облаками	облачность для всего неба		
						общая	нижняя	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

В специальной графе сообщаются число, месяц и год наблюдения. Ввиду того, что дата в полночь меняется, каждая ночь обозначается двумя числами, например: «28—29 июля 1959 г.». Декретное время (графа 2) записывается с точностью до 1 *мин.* В графу 3 записывается факт наличия («есть») или отсутствия («нет») серебристых облаков. В зависимости от причины их необнаружения нужно несколько по-разному регистрировать этот факт. Если на пункте наблюдения сплошная облачность и сумеречный сегмент вообще не виден, то в графе 3 делается прочерк. Если сумеречное небо видно через небольшие окна в обычных облаках и серебристые облака также не обнаружены, пишется «нет?». Когда фон сумеречного неба совершенно безоблачный, а серебристые облака не видны, отсутствие серебристых облаков обозначается словом «нет!».

В графу 4 записывается оценка яркости серебристых облаков, которая определяется для наиболее ярких участков по 5-балльной шкале:

1 — очень слабые серебристые облака, едва заметные на фоне сумеречного сегмента, обнаруживаются только при очень внимательном осмотре неба;

2 — облака замечаются легко, но имеют очень малую яркость;

3 — облака хорошо заметны, резко выделяются на фоне сумерек;

4 — яркие облака, привлекающие к себе внимание;

5 — исключительно яркие серебристые облака.

В графу 5 записывается сокращенное обозначение наблюдаемых структурных образований облаков, например: II-a, IV-b, слабо III-a, или II-a, III-a, b, c, I и т. п.

Графы 6—9 заполняются на основании наблюдений. Особое внимание уделяется метеорологическим условиям в направлении сумеречного сегмента, которые записываются в графе 6 по следующей схеме:

А. В стороне зари совершенно ясно.

Б. Небо в стороне зари в той или иной мере покрыто полупрозрачными облаками верхнего яруса (перистые и т. п.).

В. Небо в стороне зари видно лишь частично в просветах между облаками среднего или нижнего яруса.

Г. Имеются просветы в низких облаках, сквозь которые видны участки зари, в свою очередь затянутые облаками верхнего яруса.

Д. Небо в стороне зари полностью закрыто облаками нижнего или среднего яруса.

Облачность общая (графа 7) и отдельно для нижнего яруса (графа 8) оценивается по 10-балльной шкале согласно соответствующей инструкции для метеорологических наблюдений.

По окончании каждого дежурства наблюдатель заверяет своей подписью произведенные записи. Если все наблюдения проводит ежедневно один и тот же наблюдатель, об этом необходимо отметить в начале журнала.

П р о в е д е н и е т е о д о л и т н ы х н а б л ю д е н и й. Там, где имеется возможность, нужно проводить угломерные наблюдения серебристых облаков. Запись наблюдений производится по форме 2.

Все угломерные наблюдения выполняются из одной фиксированной точки. Измерения горизонтальных и вертикальных углов ведутся с помощью теодолита. Лучше применять теодолиты с малым увеличением и большим полем зрения трубы.

При любительских наблюдениях и в других случаях можно применять самодельные угломерные приборы (из транспортиров с отвесом и т. п.) без оптики, а просто с визирами.

Начальным пунктом отсчета горизонтальных углов (азимутов) является точка севера. Отсчет азимута ведется от 0 до 360° вправо от точки севера к востоку, через юг и запад. Вертикальные углы (высоты) отсчитываются от плоскости горизонта (по уровню) к зениту, т. е. от 0 до 90°.

Если теодолит заранее не установлен относительно небесного меридиана, то его нужно ориентировать относительно нескольких наземных ориентиров, а в следующие дни (в более удобной обстановке) произвести дополнительные наблюдения (Солнца

Форма 2

Журнал теодолитных наблюдений серебристых облаков

1. Дата ...
2. Наименование наблюдательного пункта ...
3. Система теодолита ...
4. Наблюдатель ...
5. Время декретное (указать пояс) ...
6. Начало наблюдения за серебристыми облаками ...
7. Момент обнаружения серебристых облаков ...
8. Крайние азимуты и высоты поля серебристых облаков ...

Время наблюдения	Название точки поля, занятого серебристыми облаками							
	самая высокая		самая нижняя		крайняя правая		крайная левая	
	высота	азимут	высота	азимут	высота	азимут	высота	азимут

Определение расстояния (*D*) до проекции серебристых облаков на Землю по их видимой угловой высоте над горизонтом (*h*)

(Высота серебристых облаков принимается неизменной, равной 82 *км*)

h	*D, км*	*h*	*D, км*	*h*	*D, км*	*h*	*D, км*
00° 10′	1062	04° 10′	662	08° 10′	454	23°	184
20	1035	20	650	20	448	24	176
30	1010	30	639	30	442	25	169
40	987	40	628	40	436	26	162
50	965	50	617	50	430	27	155
01 00	945	05 00	607	09 00	424	28	149
10	926	10	597	10	418	29	143
20	907	20	588	20	412	30	138
30	889	30	579	30	407	31	133
40	871	40	570	40	402	32	128
50	854	50	561	50	397	33	123
02 00	838	06 00	553	10	392	34	118
10	823	10	544	11	363	35	114
20	808	20	536	12	338	36	110
30	793	30	528	13	316	37	106
40	779	40	520	14	297	38	103
50	765	50	512	15	280	39	99
03 00	751	07 00	504	16	264	40	96
10	738	10	496	17	250	41	92
20	725	20	489	18	237	42	89
30	712	30	482	19	225	43	86
40	699	40	475	20	214	44	83
50	686	50	468	21	204	45	80
04 00	674	08 00	461	22	194		

или Полярной звезды) для привязки основных измерений к меридиану.

Целью этих наблюдений является установление крайних видимых границ распространения серебристых облаков. Зная угловую высоту над горизонтом участка серебристых облаков и принимая среднюю высоту их равной 82 *км*, можно с достаточной точностью определить расстояние до его проекции на поверхность Земли по таблице на стр. 486.

Измеряются также азимуты крайних боковых (правой и левой) границ области неба, занятого серебристыми облаками. Измерения углов производятся с точностью $\pm 0^{\circ},5$.

Фотографирование серебристых облаков. Фотографировать серебристые облака можно любым фотоаппаратом («Любитель», «Зоркий», «Киев», «Смена» и т. п.) и некоторыми специальными камерами, например фототеодолитами или аэрофотоаппаратами. Продолжительность экспозиции зависит от угла погружения Солнца под горизонт, яркости сумерек, от чувствительности фотоматериалов, светосилы оптики, в некоторой степени от яркости серебристых облаков и от других причин. При относительном отверстии объектива 1 : 2, 1 : 3,5 и чувствительности фотоэмульсии порядка 50—200 единиц по ГОСТ экспозиции будут меняться от нескольких секунд до одной минуты.

Наиболее подходящими аппаратами являются камеры с фокусным расстоянием оптики 10—15 *см* и размером кадра от 9×12 до 18×24 *см*. В случае применения малоформатных камер («Киев», ФЭД и т. п.) не рекомендуется пользоваться портретными объективами.

В наблюдениях серебристых облаков может принять участие широкий круг любителей. Для того чтобы накопленный ими материал мог быть впоследствии обработан, необходима строгая синхронизация всех фотографических наблюдений серебристых облаков. Для этого необходимо заранее, перед наблюдениями, ввести поправки в показания часов на основе их проверки по сигналам времени и предвычислить начало синхронных экспозиций. Синхронизированные экспозиции необходимо начинать точно в следующие моменты декретного времени:

21	час	15	мин.	00	сек.
21	»	30	»	00	»
21	»	45	»	00	»
22	»	00	»	00	»
22	»	15	»	00	»

и т. д., — для каждого часа начало каждой экспозиции через 15 мин. 00 сек. Если есть возможность снимать чаще, то такие промежуточные снимки делаются между этими основными

моментами по желанию наблюдателя. Часы желательно применять возможно более точные (лучше всего хронометры) и знать для них поправки на каждый день с максимально возможной точностью.

Укрепив аппарат на постоянном месте и наводя его на интересующую наблюдателя область облачного поля, нужно поставить кадр снимка так, чтобы небольшую часть его занимал видимый горизонт, необходимый при последующей обработке.

На каждом кадре необходимо иметь не менее двух-трех опорных точек, положение которых должно быть измерено теодолитом, если это наземные резкоочерченные ориентиры. Для определения масштаба в различных участках снимка нужно этим же фотоаппаратом снять или участок местности со многими измеренными точками, или определенный участок звездного неба.

Запись наблюдений ведется по форме 3.

Форма 3

Журнал фотографирования серебристых облаков

1. Дата .... 2. Наблюдатель ....
3. Часы (марка) .... 4. Поправка часов ....
5. Тип фотоаппарата ....
6. Объектив (марка) ....
   относительное отверстие ....
   фокусное расстояние ....
7. Сорт и светочувствительность фотоматериала ....

....

№ снимка	Выдержка		Направление съемки по оптической оси		Светофильтр	Примечание
	начало	продолжительность	азимут	высота		

После проявления в журнал нужно записать тип и состав проявителя, время проявления и температуру растворов, а также основные свойства полученных негативов (контрастность, проработка деталей облаков, правильность выбранной экспозиции и т. п.). Негативы нужно тщательно хранить в специальной упаковке и оберегать от нанесения царапин и других повреждений.

Фотографические наблюдения являются ценным дополнением к визуальным наблюдениям, и их нужно применять там, где это возможно. Отметка времени фотографирования производится с точностью ±1—2 *сек.*

II. Определение высот серебристых облаков. Для определения высоты серебристых облаков обычно применяется метод одновременного фотографирования одного и того же участка поля серебристых облаков из двух базисных пунктов, удаленных друг от друга на несколько десятков километров. Наиболее пригодны для этой цели фотокамеры с возможно более длиннофокусной оптикой (20—50 *см*). Портативные камеры (ФЭД, «Киев» и т. п.) также пригодны, но они дают малую точность определения высоты. Кроме того, на каждом базисном пункте необходимо иметь хорошие часы, а лучше — хронометр.

Методически базисная съемка серебристых облаков может быть поставлена одним из следующих способов.

Первый способ. Радио- и телефонная связь отсутствует. На каждом пункте имеется по одному фотоаппарату на азимутальных штативах.

Наблюдатели заблаговременно договариваются о порядке базисной съемки в случае появления серебристых облаков. Предварительно горизонт каждого пункта делится, с учетом угла поля зрения аппарата, на несколько румбов так, чтобы края соседних зон слегка (на 5—10°) перекрывались. Каждый румб на одном и другом пункте получает какое-либо условное обозначение. Оптические оси аппаратов, установленных на одноименные румбы, должны быть по возможности параллельными в пространстве.

Устанавливается определенное время начала выдержек для съемки в каждом румбе. Например, при трех румбах для начала фотографирования может быть принят такой порядок:

	Румб I	Румб II	Румб III
Серия 1	$23^h00^m00^s$	$23^h05^m00^s$	$23^h10^m00^s$
2	15 00	20 00	25 00
3	30 00	35 00	40 00
4	45 00	50 00	55 00
5	$0^h00^m00^s$	$0^h05^m00^s$	$0^h10^m00^s$
и т. д.			

В случае появления серебристых облаков одновременно в нескольких или во всех румбах каждый наблюдатель, повертывая аппарат по азимуту, самостоятельно ведет фотографирование согласно принятому расписанию, охватывая все направления. Конкретные моменты съемки по часам должны быть предвычислены перед наблюдениями на каждом пункте с учетом поправок и хода часов, определяемых по радио.

В случае появления серебристых облаков небольшой протяженности по азимуту порядок съемки упрощается. Фотографирование ведется в одном румбе, соответствующем азимуту

серебристых облаков, на каждом пункте в моменты, предусмотренные расписанием. Впрочем, на такой случай наблюдатели могут предварительно договориться о более частом фотографировании, например через каждые пять минут согласно расписанию, установленному для других румбов.

Само фотографирование должно производиться в соответствии с указаниями, приведенными выше.

В т о р о й с п о с о б. В наличии достаточное количество однотипных фотоаппаратов. На каждом пункте они устанавливаются неподвижно с перекрытием поля зрения соседних аппаратов на 5—10°.

Ориентировка оптических осей аппаратов производится так же, как в первом способе.

Расписание моментов начала выдержки для каждого аппарата может быть принято иное. Например, если устроить механизацию одновременного открытия затворов во всех аппаратах на каждом пункте (см. стр. 496), то расписание можно значительно упростить.

Т р е т и й с п о с о б Имеется надежная телефонная или радиосвязь между наблюдательными пунктами. В этом случае работа значительно упрощается. Один (главный) наблюдательный пункт по радио или телефону путем подачи заблаговременно установленных команд управляет работой наблюдателей на базисном пункте. При этом часы могут быть только на одном главном пункте. Необходимость заблаговременного установления расписания экспозиций отпадает.

Ч е т в е р т ы й с п о с о б. Имеется хорошая геодезическая подготовка наблюдателей и соответствующее геодезическое оборудование. Базисная съемка ведется с помощью фототеодолитов. Производится соответствующая геодезическая привязка на местности к отдельным искусственным (специально выставленным) или естественным наземным ориентирам. Фототеодолиты на каждом базисном пункте ориентируются так, чтобы их оптические оси во время съемки были строго параллельны. Организация самой съемки может осуществляться в зависимости от возможностей одним из трех ранее описанных способов.

Кроме фототеодолитов, могут применяться также топографические аэрофотоаппараты, установленные, как во втором способе, неподвижно. Их оптические оси также устанавливаются параллельно друг другу в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Одновременные фотографии с базисных пунктов, полученные четвертым способом, являются стереопарами, пригодными для рассматривания в стереоскоп и стереофотограмметрической обработки.

Техника и математическая сторона обработки наблюдательного материала описаны в статьях, указанных в списке литературы в конце инструкции.

III. Изучение движений серебристых облаков. Серебристые облака представляют собой наиболее удобное средство изучения динамических свойств верхней стратосферы. В периоды появления серебристых облаков создаются благоприятные возможности одновременного наблюдения разного рода движений сравнительно тонкого слоя стратосферы на площади до нескольких тысяч, а иногда и миллионов квадратных километров.

На практике применяются фотографический и визуальный способы измерения скорости дрейфа серебристых облаков. Первый из них требует получения серии отдельных фотографий серебристых облаков с интервалом в несколько минут. Недостаток этого метода заключается в том, что по отдельным фотографиям чрезвычайно трудно, а иногда совершенно невозможно проследить сложную картину непрерывных движений даже небольшого участка серебристых облаков. Поэтому необходимо применение такого средства исследования, которое позволило бы выявить более полную кинематическую картину изучаемого поля серебристых облаков. Таким средством является замедленная киносъемка, которая позволяет медленно протекающие в природе процессы наблюдать на экране ускоренными во много раз.

Развитие любительской кинематографии в СССР заставляет нас всемерно рекомендовать кинолюбителям использовать имеющиеся у них возможности для киносъемки серебристых облаков.

Киносъемку серебристых облаков можно производить любым киноаппаратом на 35-*мм* или 16-*мм* пленку. Для этой цели пригодны всевозможные любительские камеры, репортерские (КС-50/Б), а также профессиональные — КС-21, ПСК-21, «Аскания» и пр. Привод камер осуществляется от электромоторов через раферные или цейтраферные редукторные приставки. Скорость съемки с помощью этих приставок замедляется до одного кадра в 5—10 *сек.*

В крайнем случае замедленную покадровую съемку можно осуществлять от руки по секундомеру, вращая ручку мультхода или соответствующим образом размеченным поворотом скоростной ручки обеспечивая смену очередного кадра. Цейтраферный способ наиболее удобен, если только он осуществляется специальным механическим редуктором с мотором и контактными часами.

С течением времени яркость сумеречного неба и серебристых облаков меняется. Обычно съемка начинается с вечера, и вся ночь снимается на одну пленку. Для охвата большого диапазона яркостей объекта приходится менять угол раствора обтюратора или диафрагму объектива. Однако злоупотребление последним приемом нежелательно, а иногда его применение просто недопустимо (если ставится задача получить фотометрически однородную пленку). Эти обстоятельства приводят к необходимости

применения фотоэмульсии с большой широтой и достаточной светочувствительностью.

Во всех случаях должны быть соблюдены два условия, а именно: скорость съемки выдерживается постоянной в течение всей ночи и все кадры пленки должны быть «привязаны» ко времени. Для этого во время съемки (не останавливая вращения ручки) периодически через 20—30 минут заслонкой закрывается объектив камеры. В результате на фильме получаются два-три светлых (неэкспонированных) кадра. Закрытие объектива начинается в момент начала экспонирования кадра, и заслонка открывается перед началом экспонирования одного из следующих кадров. Если через некоторое время повторить то же самое, то можно с точностью ± 1 *сек* отметить время начала и конца экспонирования каждого кадра этого промежутка.

Заблаговременно, до появления серебристых облаков, кинокамера устанавливается на определенное постоянное место на наблюдательной площадке. Штатив должен обеспечивать легкий поворот камеры во все стороны возможного появления серебристых облаков. Специальный столик или держатель служат для размещения раферной или цейтраферной приставки (редуктора). При вращении камеры на штативе всегда небольшая часть кадра должна быть заполнена неподвижными земными предметами. Это впоследствии значительно облегчит обработку фильма.

Для приобретения навыка и выбора правильной экспозиции чрезвычайно полезно произвести некоторые тренировочные съемки сумеречного неба при погружении Солнца под горизонт на 6—12°, а также замедленную съемку обычных тропосферных (волнистых и перистых) облаков.

Одновременно с киносъемкой производится крупномасштабное фотографирование тех же участков серебристых облаков. Интервалы времени между соседними снимками — от 1 до 5 минут. Это целесообразно для параллельной обработки с переходом от измерений на кинокадре ($1{,}6 \times 2{,}1$ *см*) к измерениям по крупномасштабным снимкам (9×12 *см* и 18×24 *см*).

Киносъемка производится так, что каждый кадр включает в себя достаточное количество опорных неподвижных точек, специально выставленных вдоль горизонта в азимутах возможного появления серебристых облаков. С места установки каждого аппарата теодолитом определяются горизонтальные координаты (азимут и угловая высота) всех опорных точек.

IV. Фотографическая фотометрия, поляриметрия и колориметрия серебристых облаков. Основной задачей фотометрии, поляриметрии и колориметрии серебристых облаков является изучение отражательных (или рассеивающих) свойств частиц, образующих серебристые облака. Наблюдения сводятся к определению фотографическим путем абсолютной или относительной яркости различных точек поля серебристых облаков в широком спектральном диапазоне либо в выбранных отдельных узких

участках длин волн, к оценке индикатрисы рассеяния их частиц, к вычислению цветовых коэффициентов, степени поляризации и положения плоскости поляризации (в функции угла рассеяния) их излучения. Результаты таких наблюдений могут быть использованы для суждения об альбедо, количестве, размерах, форме и физической природе частиц, образующих серебристые облака. Фотометрические и поляриметрические наблюдения серебристых облаков проводились в ряде отделений ВАГО. При наличии необходимых приборов они доступны каждой группе любителей астрономии.

Вследствие большой трудоемкости фотометрических, поляриметрических и колориметрических наблюдений серебристых облаков подготовку к организации таких наблюдений следует проводить только в тех районах, где серебристые облака достаточно часто наблюдаются, т. ѐ. в полосе широт от 50 до 60° (ориентировочно). Подготовка к наблюдениям включает подготовку и испытание приборов, изготовление ряда приспособлений к ним, оборудование фотографической и фотометрической лабораторий.

Выполнение фотографических, фотометрических, поляриметрических и колориметрических наблюдений имеет много общего, поэтому методику таких наблюдений удобно рассматривать одновременно.

Методика проведения наблюдений. Для проведения наблюдений должна быть выбрана удобная наблюдательная площадка, желательно к северу от населенных пунктов, с открытым горизонтом в направлениях «восток — север — запад».

На горизонте наблюдательной площадки обязательно наличие достаточного количества постоянных ориентиров с известными горизонтальными координатами, измеренными с точностью до 1′ с помощью теодолита или других имеющихся в распоряжении наблюдателя приборов. Для всех приборов на площадке должны быть установлены столы или столбы.

Средне развитое поле серебристых облаков имеет обычно протяженность по азимуту от 30 до 100°; отдельные детали облаков могут наблюдаться на высоте до 20—25° над горизонтом. Фотографические аппараты, предназначенные для съемки серебристых облаков, должны иметь достаточное поле изображения для того, чтобы получить на одном снимке если не всё, то по крайней мере бóльшую часть поля серебристых облаков. Удобными в этом отношении оказываются камеры с нормальными объективами, диагональ кадра которых охватывает угол в 45—55°. Применение камер с широкоугольными объективами (угол поля изображения 75—135°) нежелательно, так как эти объективы дают большую фотометрическую ошибку поля. Для удобства обработки снимков следует пользоваться камерами, имеющими небольшие линейные размеры кадра. Аппаратами, удовлетворяющими всем перечисленным требованиям, являются

аппараты с размером кадра 6×6 *см* или 6×9 *см* («Салют», «Москва», «Турист», «Любитель», «Спутник» и др.). При отсутствии таких камер съемку серебристых облаков можно выполнять на малоформатных камерах ФЭД, «Зоркий», «Зенит» и т. д., либо на любых имеющихся в распоряжении наблюдателя аппаратах.

Для фотометрических наблюдений серебристых облаков достаточно иметь один аппарат, для поляриметрических и колориметрических наблюдений необходимо наличие не менее трех совершенно однотипных аппаратов. Эти аппараты должны быть снабжены узкополосными светофильтрами для колориметрии и анализаторами для поляриметрии, которые крепятся перед объективами камер. В качестве анализаторов могут быть использованы выпускаемые нашей промышленностью и имеющиеся в продаже поляризационные светофильтры, надеваемые на объективы камер. На первой камере поляроид устанавливается так, чтобы плоскость его поляризации была вертикальна; плоскости поляризации поляроидов на второй и третьей камерах устанавливают на 60° в стороны от этого положения (рис. 182). При

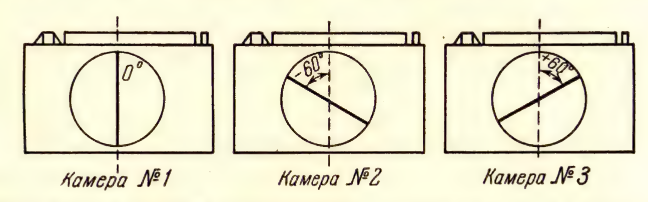


Рис. 182. Положение плоскостей поляризации поляроидов на камерах в рабочем положении.

таких положениях поляроидов значительно упрощается обработка полученных снимков.

Аппараты во время наблюдений устанавливаются большой стороной кадра параллельно горизонту так, чтобы внизу кадра получалась узкая полоска горизонта с имеющимися на нем ориентирами. При колориметрической и поляриметрической съемке оси всех трех камер устанавливаются параллельно. Если фотометрическая съемка серебристых облаков ведется одним аппаратом, то различные части поля серебристых облаков снимаются по очереди; при наличии большего количества аппаратов необходимо организовать панорамную съемку серебристых облаков. При панорамной съемки оптические оси камер развертываются по азимуту веером с перекрытием кадров соседних камер в 5—10°. Панорамная и поляриметрическая съемки серебристых облаков могут вестись на одних и тех же камерах, если установка для аппаратов позволяет закреплять камеры в двух различных фиксированных положениях: на поляриметрическую съемку (оси камер параллельны) и на панорамную съемку (оптические оси камер веером) (рис. 183).

При выполнении наблюдений должна строго соблюдаться аккуратность в работе. Недопустимо загрязнение, попадание пыли или влаги на оптические детали камер. Большие неудобства во время съемки возникают в связи с выпаданием росы. Для борьбы с росой во время экспонирования на объективы камер необходимо надевать защитные конусы (для этой цели могут быть использованы солнечные бленды), в перерывах же между экспозициями следует закрывать специальным чехлом все аппараты либо надевать крышки на объективы. При съемке с надетыми на объективы светофильтрами выпавшую росу с последних можно удалить чистыми фланелевыми тампонами. Касаться поверхности обективов аппаратов категорически воспрещается.

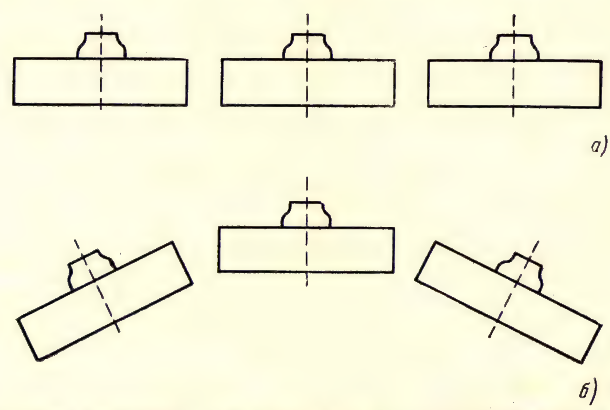


Рис. 183. Положение оптических осей камер при поляриметрической (*а*) и панорамной съемке (*б*).

Моменты середины экспозиций при фотографировании серебристых облаков должны отмечаться с точностью не менее 0,1 *мин*. Для того чтобы обеспечить такую точность, поправки рабочих часов необходимо определять в течение всего периода наблюдений по радиосигналам ежедневно не менее трх раз, например: в 7, 13 и 19 часов. На пункте наблюдений желательно иметь хронометр.

При фотографировании серебристых облаков с поляроидами или светофильтрами необходимо использовать фотоматериалы высокой чувствительности (90—130 ед. и более). Для того чтобы не вводить поправки за различную продолжительность выдержки, съемку серебристых облаков следует проводить при одной и той же постоянной экспозиции, меняя в зависимости от яркости снимаемых облаков действующее отверстие объектива камеры — диафрагму. В этом случае все имеющиеся на аппарате и применяемые для работы диафрагмы должны быть фотометрически прокалиброваны. Для этой цели в лабораторных условиях необходимо снять равномерно освещенную поверхность при

различных значениях диафрагм и постоянной выдержке. Съемка производится при установке объектива на бесконечность, снимаемая поверхность устанавливается от аппарата на расстоянии не менее 100 фокусных расстояний объектива. Освещенность ее поддерживается строго постоянной. Полученные таким образом и прокалиброванные снимки дадут при обработке калибровку диафрагмы.

Продолжительность экспозиции при съемке серебристых облаков должна выдерживаться с возможно большей точностью, для чего производить ее следует либо с помощью отбивающего секунды метронома либо с помощью секундомера. Наиболее удобной оказывается выдержка в 30 секунд. Перемену диафрагм в процессе выполнения наблюдений серебристых облаков следует определять из опыта для каждого сорта фотоматериалов отдельно, табулируя их в зависимости от углов погружения Солнца под горизонт. Наиболее удобными для фотометрической обработки являются снимки средней плотности, в обычной фотографической практике называемые «слегка недодержанными». Необходимо стремиться к получению именно таких снимков.

При поляриметрической и колориметрической съемке экспозиция на трех камерах должна проводиться строго одновременно и одинаковой продолжительности. Для этой цели удобно изготовить специальное приспособление, в котором тросики от всех трех камер нажимались бы одновременно (рис. 184).

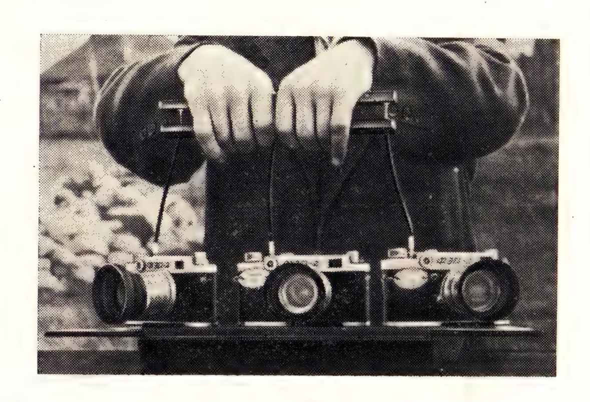


Рис. 184. Устройство для одновременного производства экспозиции на трех камерах (панорамная съемка).

Малейшее различие в продолжительности экспозиций на каждой из трех камер, различие в пропускании оптики аппаратов, чувствительности фотоматериалов, режимов обработки снимков и т. д. может привести при поляриметрической съемке облаков к обнаружению ложной поляризации. Для того чтобы этого избежать, одновременно со съемкой серебристых облаков

необходимо проводить на всех камерах съемку миры, устанавливаемой на расстоянии 10—15 *м* перед аппаратами. Изображение миры должно получаться на снимке на 2—3° выше линии видимого горизонта. Мира представляет собой ящик, с одной стороны которого расположен белый просвечивающий экран размером около 20 × 20 *см* (матовое или молочное стекло, несколько слоев равномерной на просвет бумаги), с другой стороны — несколько ламп накаливания, равномерно освещающих этот экран (рис. 185). Питание ламп накаливания производится от сети или от батарей через реостат, с помощью которого можно менять яркость миры в зависимости от диафрагмы, с которой производится съемка серебристых облаков. На реостате имеется миллиметровая шкала, по которой отмечается положение ползунка реостата. Установка ползунка табулируется из опыта в зависимости от диафрагмы аппарата и углов погружения Солнца под горизонт. Свет миры должен быть обязательно естественным, для чего перед работой она должна быть тщательно проверена с точки зрения отсутствия поляризации излучения просвечиваемого экрана. Это может быть сделано одним из способов, подробно описанных в литературе.

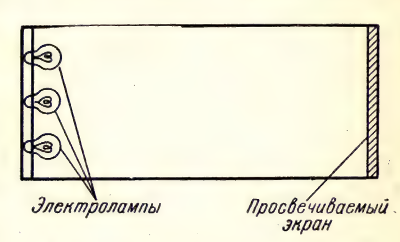


Рис. 185. Схема устройства миры.

Использование миры с известными цветовыми коэффициентами для применяемых фильтров весьма полезно и при колориметрической съемке. Однако точное нахождение указанных цветовых коэффициентов (при различных положениях движка реостата) представляет собой довольно трудную задачу, вряд ли выполнимую при отсутствии специального оборудования.

Лабораторная обработка фотоснимков. Так же как и во время наблюдений, полная аккуратность должна непременно соблюдаться и при лабораторной обработке полученных снимков. Негативы, частично засвеченные, неравномерно проявленные, загрязненные, имеющие налеты, подтеки, пятна, царапины, пузыри, вуаль, ореолы, для фотометрической обработки непригодны. Для того чтобы избежать всех перечисленных дефектов на снимках, лабораторную обработку негативов следует проводить только в хорошо оборудованных условиях. Особое внимание следует обратить на чистоту используемой воды, используемых химикалиев, строгое соблюдение температурного режима обработки, тщательность промывки, правильность сушки негативов. В качестве последней ванны желательно использовать дистиллированную воду, в противном случае перед сушкой с негативов необходимо мягким тампоном снять все капли воды.

Качество изображения во многом зависит от рецептов проявляющего и фиксирующего растворов. Для каждого сорта пленок или пластинок необходимо на опыте подбирать из имеющихся в справочниках рецептов состав проявителя, дающий наилучшие результаты. В качестве одного из лучших рецептов можно рекомендовать мелкозернистый проявитель следующего состава:

Метол	7,5 *г*
Сульфит натрия безводный	100 *г*
Вода дистиллированная	1 *л*

Время проявления — 20 минут при $t = 20°$ C. Температуру и время проявления следует выдерживать с возможно большей точностью. Каждую отдельную пленку или пластинку следует проявлять в свежем растворе. Повторное проявление в одном растворе и тем более применение подкрепляющих растворов недопустимы, так как при этом качество проявления снижается. Промывку негативов после проявления следует также производить каждый раз в свежей воде, лучше дистиллированной.

В качестве фиксирующего раствора лучше всего применять простой фиксаж следующего состава:

Гипосульфит	250 *г*
Вода дистиллированная	1 *л*

Применение быстродействующих фиксажных растворов недопустимо, так как они несколько ослабляют проявленное изображение. Фиксирование следует проводить в темноте до полного исчезновения невосстановленных солей серебра, в противном случае на негативе образуются подтеки. Снимки, предназначенные для фотометрической обработки, ни в коем случае не усиливаются и не ослабляются.

Следует отметить, что при проявлении роликовой пленки в фотобачках условия проявления внутренних и наружных витков спирали резко различаются. Поэтому следует либо избегать проявления пленки в фотобачках либо располагать калибровочные засветки во многих местах по всей длине пленки.

Калибровка снимков. Все снимки, полученные для фотометрии, поляриметрии, колориметрии и спектрофотометрии серебристых облаков, должны быть калиброваны. Тем или иным способом участки пленки засвечиваются светом, создающим известную освещенность на негативе в любой, хотя бы относительной системе единиц. Спектральный состав излучения, используемого для калибровки фотометрических и поляриметрических снимков, должен быть близок к спектральному составу свечения серебристых облаков. Интервал освещенностей должен перекрывать интервал плотностей фотоматериала, т. е. самая слабая засветка должна только намечаться, а самая плотная должна быть передержана.

После проявления и обработки на микрофотометре имеющихся на калибровочных снимках засветок мы будем иметь для каждого известного значения освещенности на негативе, т. е. для каждого известного значения яркости снимаемого объекта, соответствующее ему почернение на снимке. По этим значениям строится калибровочная или характеристическая кривая фотоматериала, где значения оптических плотностей на снимке (D) откладываются в зависимости от логарифма экспозиции ($\lg H$).

Под оптической плотностью понимается величина

$$\Phi_0/\Phi,$$

где Φ_0 — падающий на исследуемый участок негатива световой поток, Φ — пропущенный этим участком световой поток. Соответственно, экспозиция

$$H = E \cdot T,$$

где E — освещенность, создаваемая на поверхности эмульсии негатива во время фотографической съемки, T — продолжительность съемки.

Каждый отдельный снимок серебристых облаков или участок пленки с несколькими снимками должны иметь собственные независимые калибровочные шкалы, печатаемые на тех же кусках пластинок или пленок и проявленные вместе со снимками серебристых облаков.

Наилучшим прибором для получения калибровочной шкалы при фотографической фотометрии, поляриметрии и колориметрии является трубчатый фотометр. При отсутствии трубчатого фотометра калибровочные шкалы могут быть получены также печатанием на негативе ступенчатого ослабителя с известными коэффициентами пропускания полей или клина с известной постоянной. При съемке малоформатными или другими камерами на роликовую пленку необходимо иметь ряд калибровочных засветок по всей длине пленки, для чего желательно иметь такое калибровочное приспособление, которое позволяло бы впечатывать калибровочные шкалы, не разряжая аппарата. Такая калибровка может быть произведена путем съемки фонаря, в передней стенке которого установлен просвечиваемый ступенчатый ослабитель или клин. Устройство калибровочного фонаря (рис. 186) аналогично устройству миры,

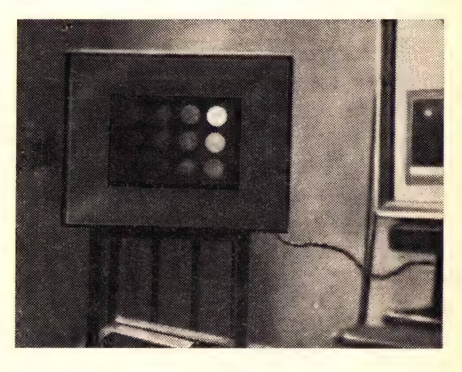


Рис. 186. Калибровочный фонарь в лаборатории.

ступенчатый ослабитель или клин устанавливается до или после просвечиваемого экрана. Калибровочный фонарь во время работы устанавливается перед аппаратом на расстоянии 5—10 *м* и через определенное число кадров производится его съемка. При поляриметрической съемке серебристых облаков калибровочный фонарь и мира могут быть объединены в одном приборе, так как калибровочный фонарь, снимаемый всеми тремя аппаратами одновременно со съемкой серебристых облаков, выполняет и функции миры. Экспозиция при получении калибровочных засветок должна быть такой же, как и при съемке исследуемого объекта, т. е. 30 секунд.

Для того чтобы иметь возможность сравнить между собой результаты, полученные из обработки различных негативов, калибровочные засветки необходимо проводить при определенных, строго одинаковых условиях. Режим работы ламп накаливания при получении засветок от трубчатого фотометра или калибровочного фонаря должен контролироваться с помощью прецизионного вольтметра или амперметра класса не ниже 0,5 и поддерживаться постоянным с помощью включенного в цепь реостата. При работе с трубчатым фотометром расстояния от ламп до экрана и от экрана до трубчатого фотометра, а также положение установки в помещении, если она открытая, не должны меняться в течение всего периода наблюдений. При печатании засветок в лаборатории всякий посторонний свет должен быть устранен. При калибровке от фонаря на наблюдательной площадке во время съемки облаков должна учитываться освещенность, создаваемая рассеянным светом неба. Для этого небольшой участок просвечиваемого экрана фонаря заклеивается со стороны ламп черной бумагой и выделяется снаружи. При работе он будет освещаться только рассеянным светом неба. Альбедо различных полей калибровочного фонаря по отношению к этому стандартному полю определяются съемкой фонаря с выключенными лампами накаливания в условиях, близких к условиям наблюдений серебристых облаков.

Таким образом, калибровочные засветки дадут нам фотометрическую систему, которая не будет меняться от одного снимка к другому, и будет служить вторичным эталоном для связи снимков, полученных на разных негативах.

Фотометрическая стандартизация. Прокалибровав все снимки серебристых облаков, мы сможем выразить яркость их отдельных точек в условной системе единиц, связанной с нашей калибровочной шкалой. Но для того чтобы выразить яркости точек серебристых облаков в какой-либо абсолютной системе единиц, необходимо еще определить нуль-пункт нашей условной системы в выбранной системе абсолютных единиц, т. е. провести фотометрическую стандартизацию полученных снимков. Сущность фотометрической стандартизации сводится

к определению в единицах нашей условной системы яркости какой-либо поверхности, которая известна в абсолютной системе, причем тем же способом, на тех же приборах и фотоматериалах. Так как свечение серебристых облаков вызывается излучением Солнца, то удобнее всего сравнивать яркости различных точек серебристых облаков с яркостью абсолютно белой поверхности, расположенной нормально к солнечным лучам на границе земной атмосферы в каждый данный день наблюдений. Яркости отдельных точек облака, выраженные в такой системе единиц и исправленные за атмосферное поглощение, будут давать альбедо этих точек.

Стандартизацию можно проводить с помощью специально изготовленной насадки, надеваемой на объектив фотоаппарата или спектрографа (рис. 187). Стандартизационаая насадка (рис. 188) состоит из трубки, по диаметру несколько большей диаметра оправы объектива, на одном конце которой расположено молочное стекло. Этим концом насадка надевается или навинчивается на оправу объектива. На расстоянии не менее 100 *мм* от первого молочного стекла устанавливается малая диафрагма,



Рис. 187. Стандартизационная насадка в рабочем положении.

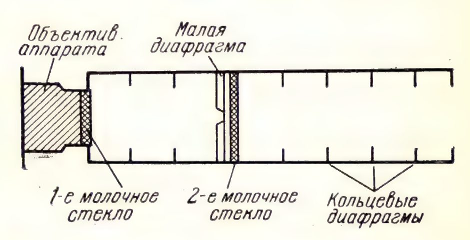


Рис. 188. Схематический рисунок устройства стандартизационной насадки.

за которой устанавливается второе молочное стекло. Расстояние от второго молочного стекла до конца насадки должно быть порядка 200 *мм*; эта часть насадки предохраняет второе молочное стекло от попадания на него рассеянного света неба. По всей длине насадки устанавливаются кольцевые диафрагмы, препятствующие попаданию на молочные стекла и в объектив аппарата света, отраженного от стенок насадки. Диаметр малой диафрагмы подбирается на опыте так, чтобы равномерные засветки, получаемые на снимках, были средней плотности. Зная коэффициенты пропускания молочных стекол, диаметр малой диафрагмы и расстояние ее от первого молочного

стекла, можно рассчитать освещенность, создаваемую на негативе, и таким образом, стандартизовать полученные снимки.

Все стандартизационные засветки должны быть обязательно снабжены калибровочными засветками, полученными в тех же условиях, что и засветки для снимков серебристых облаков. По этим калибровочным засветкам и будет определяться освещенность белого экрана или засветок от стандартизационной насадки в условной системе единиц.

Учет атмосферного ослабления. Лучи света при прохождении через земную атмосферу испытывают ослабление, зависящее как от длины пути луча в атмосфере и максимальной глубины его погружения, так и от состояния атмосферы в момент наблюдений. Все фотометрические наблюдения облаков и наблюдения Солнца с целью стандартизации снимков должны быть исправлены за атмосферное ослабление. Для этого в течение всего периода наблюдений необходимо проводить специальные наблюдения за атмосферной прозрачностью, которые могут выполняться с помощью тех же приспособлений, что и стандартизационные наблюдения.

Освещенность $E_н$, создаваемая Солнцем, находящимся на зенитном расстоянии z, на расположенной нормально к солнечным лучам площадке, и определенная в нашей условной системе единиц с помощью описанных выше приспособлений, будет равна $E_н = E_0 p^{M_z}$, где E_0 — освещенность, создаваемая Солнцем при отсутствии земной атмосферы, p — коэффициент прозрачности земной атмосферы, M_z — воздушная масса (при $z < 75° \; M_z \approx \sec z$, при $z > 75° \; M_z$ дается в таблицах Бемпорада; см. табл. 19 в разделе «Таблицы»).

Логарифмируя выражение для $E_н$, получим

$$\lg E_н = \lg E_0 + M_z \lg p.$$

Для того чтобы определить коэффициент прозрачности земной атмосферы p, необходимо проводить наблюдения Солнца при различных зенитных расстояниях через равные промежутки воздушных масс (ΔM_z должны составлять от 0,3 до 0,5). После обработки наблюдений мы сможем изобразить на графике в виде точек полученные значения $\lg E_н$ как функции M_z. Через эти точки проводится прямая линия, называемая *бугеровской*. Угловой коэффициент этой линии и будет равен $\lg p$. Проведя бугеровскую линию до пересечения с осью ординат, мы получим значение $\lg E_0$. Среднее значение освещенности от Солнца E_0 при отсутствии земной атмосферы, определенное из многих измерений в течение всего периода наблюдений, и будет нами использовано для стандартизации полученных снимков.

Все приведенные выше рассуждения для Солнца справедливы и для других астрономических объектов, в частности, и

для отдельных точек серебристых облаков. Но при наблюдениях серебристых облаков мы должны определять атмосферное поглощение из наблюдений какого-то другого светила. Удобнее всего для этого воспользоваться Солнцем.

Серебристые облака обычно наблюдаются при $z > 75°$, где никакие таблицы воздушных масс не дают достаточно точных данных. Поэтому при наблюдениях серебристых облаков необходимо определить не только коэффициент прозрачности атмосферы p, но и табулировать из наблюдений для каждого дня наблюдений воздушные массы в азимутах, близких к азимуту возможных наблюдений облаков. Удобнее всего прямо определять коэффициент пропускания атмосферы $T_z = p^{M_z}$, как функцию зенитного расстояния.

Определять T_z мы будем из наблюдений Солнца. Для этого Солнце необходимо наблюдать вечером вплоть до захода и утром начиная с самого восхода, также через равные промежутки воздушных масс. Обработав эти наблюдения, мы сможем, пользуясь одним из ранее написанных соотношений, определить коэффициент пропускания земной атмосферы $T_z = E_н/E_0$ для разных z для каждого вечера или утра наблюдений. Построив график T_z, мы сможем в дальнейшем снять с него значения T_z для любого зенитного расстояния.

Наблюдаемая яркость точек облака $B_н$ равна $B_н = B_0 \cdot T_z$, где B_0 — яркость точек облака при отсутствии поглощения света на пути луча от облака к наблюдателю. Если мы знаем T_z, то B_0, очевидно, найдется из выражения $B_0 = B_н/T_z$, причем $B_0 > B_н$, так как $T_z < 1$.

Во время обработки выполненных наблюдений, как правило, придется учитывать атмосферное ослабление не только на пути луча от облака к наблюдателю, но и на пути его до попадания на частицы облака. Учет этого ослабления не требует постановки специальных наблюдений, поэтому в настоящей инструкции он не рассматривается. Порядок его вычисления может быть найден в приведенной в конце инструкции литературе [2].

Исследование аппаратуры. Помимо фотометрической калибровки диафрагм аппаратов, для каждого аппарата в отдельности необходимо исследовать фотометрическую ошибку поля, бриллиантность и дисторсию, даваемые его объективом. В отношении первых двух ошибок исследование сводится к съемке определенных поверхностей на разных расстояниях от центра кадра или к съемке поверхности, заполняющей весь кадр, а в отношении дисторсии — к обработке по специальной программе снимков с имеющимися на них ориентирами с известными горизонтальными координатами.

Порядок наблюдений. Каждый ясный вечер или утро при наличии серебристых облаков ведется их фотографическая

съемка. Одновременно с наблюдениями снимки калибруются с помощью калибровочного фонаря на площадке или сразу же после наблюдений в лаборатории с помощью того же фонаря или трубчатого фотометра. Калибровка производится всегда при строго одинаковых условиях. С восхода Солнца и до его захода, если небо ясно, производятся наблюдения Солнца с помощью насадки для определения атмосферного поглощения и стандартизации полученных снимков. Эти наблюдения также калибруются в тот же день.

Журнал наблюдений нужно вести тщательно и аккуратно. Для каждого аппарата запись ведется отдельно. Пленки и кадры отдельных пленок нумеруются и для них записывается: 1) что снималось; 2) момент съемки с точностью до 0,1 минуты; 3) диафрагма. Все наблюдения проводятся с постоянной экспозицией 30 секунд. При поляриметрической съемке поляроиды на каждой камере устанавливаются всегда в одном и том же положении, которое указывается в журналах.

При отсутствии серебристых облаков и при отсутствии обычной облачности следует наблюдать оптические характеристики зоревого сегмента, которые, во-первых, сами по себе представляют большой научный интерес и, во-вторых, значительно облегчают обработку результатов наблюдений серебристых облаков.

В настоящей инструкции изложены лишь основы методики проведения фотографических фотометрических, поляриметрических и колориметрических наблюдений серебристых облаков. По всем вопросам методики и организации указанных наблюдений серебристых облаков, а также обработки таких наблюдений необходимо обращаться в отдел серебристых облаков Всесоюзного астрономо-геодезического общества при Академии наук СССР по адресу: 103009, Москва К-9, а/я 918. Туда же следует высылать и все полученные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бронштэн В. А., Гришин Н. И., Серебристые облака, «Наука», 1970.

2. Васильев О. Б., Астрофизические исследования серебристых облаков, изд. Астросовета АН СССР, 1967.

§ 13. Инструкция для наблюдений астроклимата

Основным фактором, снижающим эффективность телескопов, является оптическая неоднородность земной атмосферы, вызывающая значительные искажения света небесных светил. Эти искажения зависят от средних размеров оптических неоднородностей, вызываемых в атмосфере перемешиванием слоев возду-

ха с различной температурой. Поскольку качество астрономических наблюдений во многом зависит от состояния земной атмосферы, возникает существенная необходимость изучения астроклимата в местах существующих астрономических обсерваторий и при выборе мест для установки новых средних и крупных телескопов.

Наблюдения ночного астроклимата. Имеются три различных эффекта, вызываемых оптическими неоднородностями земной атмосферы: мерцание, дрожание и размытие изображений звезд.

Мерцание звезд, хорошо заметное невооруженным глазом, не является существенной помехой при наблюдениях в большие телескопы, так как их объективы в значительной степени усредняют амплитуду мерцания. Поэтому при изучении астроклимата мерцание звезд можно не принимать во внимание.

Если средние размеры атмосферных оптических неоднородностей существенно меньше диаметра объектива телескопа, то суммарное их действие приводит к размытию изображений звезд в телескопе. Если же размеры оптических неоднородностей значительно больше диаметра объектива телескопа, то наблюдается дрожание звезд.

При хорошем качестве изображения средние размеры наиболее эффективных оптических неоднородностей составляют 50—90 *см*. В телескопе диаметром более 1,5 *м* в этом случае видно размытое и почти неподвижное изображение звезды. В этих же условиях в телескопе диаметром 10 *см* наблюдается четкое дифракционное изображение, которое дрожит с частотой, обычно не превышающей 10 *гц*. При этом амплитуда дрожания в поле зрения 10-*см* телескопа соответствует диаметру размытого изображения в поле зрения большого телескопа. Следовательно, измеряя амплитуду дрожания звезды в телескопе диаметром 10 *см*, можно предсказать средний размер изображения звезды в большом телескопе.

Астроклиматические исследования следует начинать с изучения общей метеорологической обстановки, для чего желательно установить контакт с опытными метеорологами, хорошо знающими район изучения. По многолетним данным метеостанций подсчитывается среднее число ночей в каждом месяце. Умножая число ясных ночей в месяце на среднюю продолжительность астрономической ночи в этом месяце (см. табл. 20а и 24 в отделе «Таблицы»), получим минимальную продолжительность $T_м$ ночного наблюдательного времени в каждом месяце. Просуммировав эти значения $T_м$ по месяцам, найдем минимальную продолжительность ночного наблюдательного времени в году. Учет полуясных ночей представляет более сложную задачу, и мы не будем приводить его здесь, так как минимальная продолжительность наблюдательного времени является вполне

достаточной характеристикой. Результаты подсчетов сводятся в таблицу:

Ясная ночная погода

Место наблюдений: географическая долгота (λ)
географическая широта (φ)
высота над уровнем моря (h)

Месяцы	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	за год
Число ясных ночей													
Средняя продолжительность ночи													
T_M													

Одновременно с изучением общих метеорологических условий необходимо выбрать в исследуемом районе одну или несколько доступных изолированных вершин, удаленных от крупных промышленных центров. На выбранной вершине следует в первую очередь измерять среднюю скорость ветра и температуру воздуха по нескольку раз в ночь. Скорость ветра удобно измерять стандартным анемометром Фусса, а температуру — термографом, установленным в стандартной метеобудке на высоте 2 *м* над уровнем земной поверхности.

Опыт показывает, что если средняя скорость ветра не превосходит 2—3 *м/сек*, а суточный перепад температуры (разность между максимальной дневной и минимальной ночной температурой) не превышает 6—8°, то можно ожидать хорошего качества изображения. Однако для полной уверенности необходимы визуальные наблюдения дрожания изображений звезд. Эти наблюдения требуют жесткой монтировки телескопа, чтобы ветровые вибрации инструмента не вносили существенных ошибок.

Наиболее приемлемым инструментом для измерения дрожания изображений звезд является рефрактор с объективом диаметром 10 *см*. Рефрактор устанавливается на жесткой неподвижной монтировке (рис. 189) и его ось направляется на северный полюс мира. Микрометрическими ключами телескоп может поворачиваться по азимуту и высоте в пределах $\pm 2°$ для наведения на Полярную звезду. Увеличение телескопа должно быть около 600—700$^{\times}$ для того, чтобы глаз уверенно различал

дифракционное изображение звезды. В фокусе окуляра помещается шкалка с делениями в секундах дуги (рис. 190). Угловым масштабом при измерении дрожания может также служить диаметр дифракционного диска изображения звезды, равный 2″ при диаметре объектива 10 *см*.

В течение 1 минуты наблюдатель оценивает среднюю амплитуду дрожания изображения звезды относительно неподвижной визирной нити. Амплитуда оценивается в долях диаметра дифракционного диска или по шкале, если дифракционная картина плохо видна. Опытный наблюдатель оценивает амплитуду дрожания с точностью до 0,1 доли диаметра дифракционного диска (0″,2).

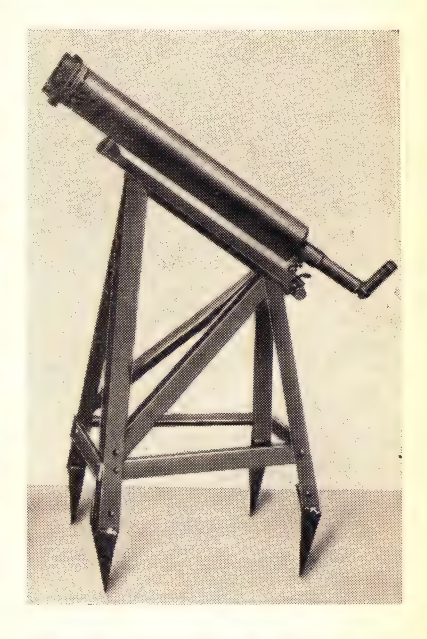


Рис. 189. Рефрактор на жесткой неподвижной монтировке.

Наблюдения следует проводить не менее трех раз за ночь (в начале астрономической ночи, в полночь и в конце астрономической ночи) одновременно с измерениями температуры воздуха и средней скорости ветра на высоте двух метров.

Результаты наблюдений записываются в журнал по форме: Фамилия, имя, отчество наблюдателя. Место наблюдения и его географические координаты (λ, φ, h). Диаметр телескопа и увеличение

Дата	Время наблюдения	Облачность	Амплитуда дрожания	Температура воздуха	Скорость ветра	Суточный перепад температуры	Примечание

Наблюдения, проведенные в различные сезоны года, позволяют охватить годовой цикл изменения погоды.

Н а б л ю д е н и я д н е в н о г о а с т р о к л и м а т а. Эти наблюдения возможны в телескопы диаметром не менее 50 *мм* при увеличении 200—300× или при размере изображения Солнца на экране около 20 *см*. В фокусе окуляра натягиваются две

параллельные нити с угловым расстоянием между ними в 5″—10″. Указания о вычислении углового расстояния между нитями см. § 4, гл. IV. В окуляр обязательно вставляется темное стекло для защиты глаза от солнечного света. Край солнечного диска помещается между нитями и оценивается средняя амплитуда

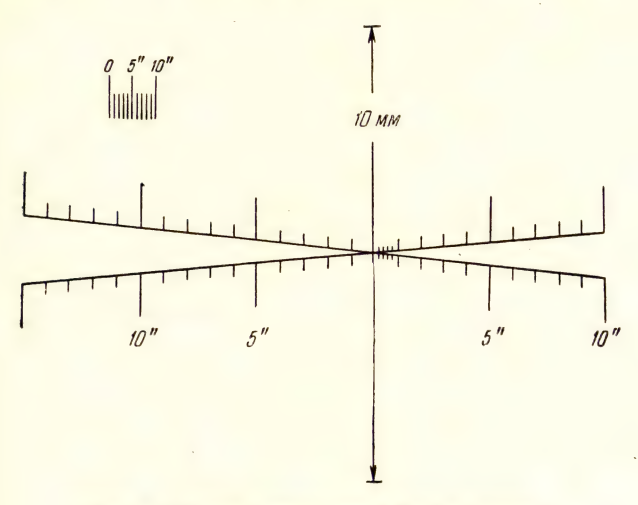


Рис. 190. Шкалка, помещенная в фокусе окуляра.

его дрожания в долях расстояния между нитями, а также качество изображения по пятибалльной шкале К. О. Койпенхойера:

1 балл. Дрожания изображения на солнечном диске и на его краю не заметно	Грануляция и структура полутени солнечных пятен хорошо заметна
2 балла. Дрожание изображения (2″) заметно только на краю; на диске дрожание почти не различимо	Грануляция видна, полутень пятен видна, но почти без тонкой структуры
3 балла. Дрожание изображения (4″) хорошо заметно на краю и на диске; солнечный лимб волнистый и пульсирует	Грануляция только прослеживается, но структура солнечной поверхности еще заметна при перемещении изображения. Тень и полутень еще разделяются, но тонкая структура пятен не видна
4 балла. Дрожание изображения (5″) мешает отличать тень от полутени; солнечный лимб волнистый и пульсирует	Тень и полутень разделяются только у больших пятен. Структура грануляции не видна
5 баллов. Амплитуда дрожания достигает диаметра больших пятен.	Даже у самых больших пятен тень и полутень неразличимы

Наблюдения качества изображения желательно проводить не менее трех раз в сутки (утром, в полдень и вечером). Запись наблюдений в журнале ведется по форме:

Дата	Время наблюдения	Облачность	Дрожание		Качество изображения в баллах	Скорость ветра	Температура воздуха	Примечание
			в долях расстояния между нитями	в секундах дуги				

В заголовке журнала указываются фамилия, имя и отчество наблюдателя, географические координаты места наблюдения, характеристика рельефа и данные об инструменте: тип, диаметр, фокусное расстояние, увеличение, поле зрения, угловое расстояние между нитями.

Глава VI

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ

§ 1. Интерполирование

Интерполированием (интерполяцией) *называется вычисление приближенного значения табличной функции при значении аргумента* (аргументов), *промежуточном между табличными его значениями.*

Если заданное значение аргумента (аргументов) находится вне области табличных значений (больше наибольшего или меньше наименьшего), то аналогичная операция называется экстраполированием (экстраполяцией).

Укажем один из наиболее частых примеров интерполяции. Геоцентрические координаты небесных тел даются в виде таблицы. Так, в Переменной части Астрономического Календаря координаты Солнца и Луны даются на начало каждых суток, координаты планет — через 16 суток. Моменты же наблюдений почти никогда не совпадают с началом суток. Если требуется определить, например, координаты Солнца в 1957 г. декабрь 13 6^h0^m всемирного времени, то надо интерполировать между эпохами декабрь 13,0 и декабрь 14,0.

Любой способ интерполяции состоит из следующих трех частей: а) выбора непрерывной функции, которая должна представлять приближение заданной табличной функции в области значений аргумента, близких к заданному значению; она должна содержать несколько буквенных параметров; б) вычисления значения приближающей функции при заданном значении аргумента; найденное число принимается за приближенное значение табличной функции; в) оценки ошибки интерполяции, если это необходимо.

Способы интерполяции различаются между собой в части а) — построении приближающей функции. Детально разработаны способы интерполяции функции одного аргумента. Об интерполяции функций нескольких аргументов, с которой редко приходится иметь дело, будет кратко упомянуто в конце.

I. Линейная интерполяция. Если изменение функции может считаться пропорциональным изменению аргумента, то интерполяция производится с помощью простой пропорции и называется *линейной интерполяцией* (приближающая функция — прямая).

Пример 1. Определить прямое восхождение Солнца в 15^h всемирного времени 10 октября 1972 г.

В Астрономическом Календаре на 1972 г. дается прямое восхождение Солнца в 0^h всемирного времени каждых суток. Выписываем его на 10, 11, 12 и 13 октября.

Октябрь	α	$\Delta\alpha$
10	$13^h\,01^m\,52^s$	
		$3^m\,41^s$
11	13 05 33	
		3 41
12	13 09 14	
		3 42
13	13 12 56	

Так как изменение прямого восхождения Солнца почти постоянно, принимая его равным 221^s, составляем простую пропорцию $221 : 24 = x : 15$, откуда получаем $x = \frac{221 \cdot 15}{24} = 138^s$.

Следовательно, прямое восхождение Солнца в заданный момент равно $13^h\,01^m\,52^s + 2^m\,18^s = 13^h\,04^m\,10^s$.

Линейная интерполяция имеет широкое применение в различных таблицах, в частности, в таблицах логарифмов и в таблицах натуральных значений тригонометрических функций.

II. Графическая интерполяция. Пусть функция $x(t)$ задана таблицей:

t	$\ldots,$	$t_{k-2},$	$t_{k-1},$	$t_k,$	$t_{k+1},$	$t_{k+2}, \ldots$
x	$\ldots,$	$x_{k-2},$	$x_{k-1},$	$x_k,$	$x_{k+1},$	$x_{k+2}, \ldots$

Табличные значения функции и аргумента (x_k, t_k) называют *узлами таблицы*. В прямоугольной системе координат (t, x) строят точки, изображающие узлы таблицы. Эти точки также называют *узлами*. «От руки» проводят плавную кривую так, чтобы она проходила через точки. Построенная кривая принимается за график приближающей функции. Для интерполяции на заданное значение t надо отложить на оси абсцисс отрезок, равный t, восставить в конце его перпендикуляр к оси абсцисс до пересечения с кривой; приближенное значение функции $x(t)$ будет равно длине этого перпендикуляра.

Графический способ применяется в тех случаях, когда табличная функция получена из недостаточно надежных наблюдений и сама функциональная зависимость не выражена четко, например, если x зависит не только от t, но и от других величин, которые не учитываются.

Способ не может дать результатов высокой точности как из-за ограниченной точности графических методов, так и вследствие произвольности и неопределенности при проведении плавной кривой.

III. Точечная интерполяция (общие сведения). Основное условие точечной интерполяции заключается в том, что *приближающая функция должна точно представлять в узлах часть*

таблицы, используемую для интерполирования. Из этого условия вытекает, что *точечную интерполяцию следует применять в тех случаях, когда табличные значения функции достаточно точны.*

Иначе говоря, если $P(t)$ — приближающая функция, то должны иметь место равенства

$$\ldots\ x_{k-2} = P(t_{k-2}),\quad x_{k-1} = P(t_{k-1}),\quad x_k = P(t_k),\ \ldots$$

Приближающая функция должна содержать несколько параметров, число которых равняется числу используемых узлов таблицы.

Другое условие точечной интерполяции касается вида функций, используемых для приближения. В практических задачах за приближающую функцию, как правило, принимается алгебраический полином. Например, полином

$$P(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$$

применяется для интерполяции в случае использования четырех узлов таблицы в окрестности того значения аргумента t, для которого требуется интерполирование. Если функция периодическая и требуется приближение по всему периоду, то за приближающую функцию принимается тригонометрический полином. Например, можно взять полином

$$F(t) = a_0 + a_1 \cos t + b_1 \sin t + a_2 \cos 2t + b_2 \sin 2t + \\ + a_3 \cos 3t + b_3 \sin 3t + a_4 \cos 4t + b_4 \sin 4t,$$

если используется девять узлов и период равен 2π.

IV. Разностные интерполяционные формулы для таблиц с постоянным шагом. Большинство таблиц, которыми приходится в своей работе пользоваться астроному, имеют постоянный шаг от начала до конца либо состоят из нескольких крупных частей, внутри которых шаг постоянен. *Шагом* таблицы называют промежуток между соседними значениями аргумента. К таблицам с постоянным шагом относятся все, полученные вычислениями: например, эфемериды и математические таблицы. Если таблица получена из наблюдений, то она редко может быть с постоянным шагом. Если можно считать, что в такой таблице случайные и прочие ошибки малы, то есть смысл с помощью приведенной выше формулы перестроить таблицу на постоянный шаг.

Все интерполяционные формулы для таблиц с постоянным шагом выведены для нормированного аргумента

$$u = \frac{t - t_0}{h},$$

где t_0 — табличное значение аргумента, принятое за начальное, h — шаг таблицы. По заданному t из табличных значений выбирается начальное t_0 так, чтобы величина $t - t_0$ по абсолютному значению не превышала половины шага. При этом условии

t может быть больше t_0; тогда говорят, что *интерполируют вперед* ($u > 0$); интерполяцию при $t < t_0$ называют *интерполяцией назад* ($u < 0$).

1. Разности табличной функции при постоянном шаге. Выпишем таблицу значений аргумента и функции в столбец с пропуском строчки между каждыми двумя смежными значениями. Поместим начальное значение около середины части таблицы, выписанной из полной таблицы. Получим три столбца. В первом из них будут табличные значения аргумента t, во втором — значения нормированного аргумента u, в третьем — значения функции x.

t	u	x	Разн. 1-го порядка	Разн. 2-го порядка	Разн. 3-го порядка	Разн. 4-го порядка
$t_0 - 2h = t_{-2}$	-2	x_{-2}				
			$x^1_{-\frac{3}{2}}$			
$t_0 - h = t_{-1}$	-1	x_{-1}		x^2_{-1}		
			$x^1_{-\frac{1}{2}}$		$x^3_{-\frac{1}{2}}$	
t_0	0	x_0		x^2_0		x^4_0
			$x^1_{\frac{1}{2}}$		$x^3_{\frac{1}{2}}$	
$t_0 + h = t_1$	$+1$	x_1		x^2_1		
			$x^1_{\frac{3}{2}}$			
$t_0 + 2h = t_2$	$+2$	x_2				

Расширим таблицу направо столбцом разностей 1-го порядка, которые получаются вычитанием каждого значения из последующего. Число разностей 1-го порядка на единицу меньше числа узлов. Их обозначения записываются в 4-м столбце: верхний значок указывает порядок разностей, нижний значок — среднее арифметическое из значков тех табличных значений, из которых получена разность. Из разностей 1-го порядка образуем новые разности, назовем их разностями 2-го порядка. Обозначения строятся по тем же правилам, как для разностей 1-го порядка: верхний значок указывает порядок разности, нижний значок равен среднему арифметическому нижних значков тех двух разностей 1-го порядка, из которых получена разность 2-го порядка.

Совершенно таким же образом вычитанием смежных разностей 2-го порядка получим разности 3-го порядка и т. д. Если в используемой части таблицы пять узлов, то разностей 1-го порядка будет четыре, 2-го — три, 3-го — две и 4-го — одна. Все

разности нечетного порядка имеют дробные нижние значки со знаменателями два, все разности четного порядка имеют целые нижние значки. Разности, выписанные в одной строке, имеют одинаковые нижние значки. Между каждыми двумя смежными разностями как по вертикали, так и по горизонтали при предложенной системе записи остаются пустые места. Вся таблица разностей имеет вид равнобедренного треугольника, основанием которого является таблица значений функции. Этот треугольник называется *треугольником разностей*.

2. Интерполяционные формулы Ньютона для таблиц с постоянным шагом.

а) *Формула Ньютона для интерполяции вперед*:

$$N^{+}(u) = x_0 + \frac{u}{1!} x^{1}_{\frac{1}{2}} + \frac{u(u-1)}{2!} x^{2}_{1} + \frac{u(u-1)(u-2)}{3!} x^{3}_{\frac{3}{2}} + \ldots$$

Здесь используются последовательные разности, расположенные на верхней стороне треугольника разностей. Значок «плюс» обозначает интерполяцию вперед.

б) *Формула Ньютона для интерполяции назад*:

$$N^{-}(u) = x_0 + \frac{u}{1!} x^{1}_{-\frac{1}{2}} + \frac{u(u+1)}{2!} x^{2}_{-1} + \frac{u(u+1)(u+2)}{3!} x^{3}_{-\frac{3}{2}} + \ldots$$

В этой формуле используются последовательные разности на нижней стороне треугольника разностей.

Пример 2. Определить склонение Марса в 0^h всемирного времени 17 июня 1972 г.

В Астрономическом Календаре на 1972 г. дается склонение Марса в 0^h мирового времени с шагом 16 суток. Ближайшее к 17 июня склонение дано на 12 июня. Так как от 12 до 17 июня 5 суток, что меньше половины шага, то за начальное склонение δ_0 принимается склонение 12 июня и интерполяция производится вперед. Поэтому склонения δ выписываются на 12 июня и на несколько следующих дат.

1972		δ				
VI	12	+23° 14′				
			+109′			
VI	28	+21 25		+38′		
			+147		−5′	
VII	14	+18 58		+33		−2′
			+180		−7	
VII	30	+15 58		+26		
			+206			
VIII	15	+12 32				

Так как разности 4-го порядка почти равны друг другу, то можно ограничиться пятью узлами. Теперь надо вычислить члены интерполяционной формулы по следующей схеме:

(1)	(2)	(3)
$u = 5:16 = 0{,}3125$	$N_1 = +0{,}3125$	$\Delta_1 = +34'{,}0$
$u-1 = -0{,}6875$	$N_2 = -0{,}1074$	$\Delta_2 = -4{,}1$
$u-2 = -1{,}6875$	$N_3 = +0{,}0602$	$\Delta_3 = -0{,}3$
$\delta = 23°\,44'$	$\delta_0 = 23°\,14'$	$\Delta = +30'$

Пояснения. В столбце (1) заготовлены нормированный аргумент «u» и множители, входящие в коэффициенты при разностях в формуле Ньютона для интерполяции вперед. В столбце (2) вычислены последовательные коэффициенты, обозначенные N_1, N_2, N_3. При вычислениях используются предыдущие коэффициенты по формулам

$$N_1 = u, \quad N_2 = \frac{N_1(u-1)}{2},$$

$$N_3 = \frac{N_2(u-2)}{3}.$$

В столбце (3) даны произведения коэффициентов на разности, вычисленные с запасным знаком (десятые доли минуты). Чтобы обеспечить этот знак, N_1 и N_2 необходимо брать с четырьмя знаками после запятой, в N_3 можно было бы ограничиться тремя знаками.

Сложение чисел столбца (3) даст сумму Δ всех членов формулы без первого; после сложения запасный знак отбрасывается с округлением последнего знака. Прибавив к начальному значению склонения δ_0 член Δ, получим искомое склонение.

Кроме интерполяционной формулы Ньютона, применяются и некоторые другие интерполяционные формулы (Бесселя, Стирлинга и др.), вычисления по которым иногда бывает более выгодно производить, главным образом из-за меньшей вычислительной трудоемкости (например, при «интерполяции на середину» выгоднее всего пользоваться формулой Бесселя).

V. Интерполирование по таблицам функции двух аргументов. Эту задачу называют также интерполированием по таблице с *двумя входами*. Употребляется также название «двумерная задача интерполяции».

Функция $u = u(x, y)$ задана таблицей своих значений; значения x даны с шагом g, значения y — с шагом h; табличные значения функции — u_{kl}, значок k — для x, значок l — для y. Требуется найти приближенное значение функции при определенных заданных x и y, не совпадающих с табличными. Существуют специальные формулы для решения такой задачи, но ими редко пользуются.

Обычно употребляемый способ состоит из следующих операций.

Производят интерполяцию по x при нескольких табличных значениях y; в результате получают новую одномерную таблицу, в которой находится несколько вычисленных значений функции при заданном x и разных табличных значениях y.

§ 2. Теория ошибок с элементами теории вероятностей

1. Случайные события. Рассматриваются только такие случайные события, для которых тем или иным способом можно указать *вероятность*, т. е. число, *оценивающее возможность появления события.*

1. Классическое определение вероятности случайного события. Если до наблюдения случайного явления, в котором может произойти или не произойти случайное событие C, можно составить полный конечный список возможных, несовместных, равновозможных случаев и выделить из них благоприятные, при которых событие происходит, то *вероятностью события C называется отношение числа благоприятных случаев к числу всех случаев полного списка.*

Если n — число всех случаев, k — число благоприятных случаев, то имеем, по определению,

$$p = P(C) = \frac{k}{n}.$$

Следствие из определения. Вероятность невозможного события равна нулю, вероятность достоверного события равна единице.

Пример 1. Бросают игральную кость. Определить вероятность выпадения пятерки.

Полный список случаев: 1, 2, 3, 4, 5, 6. Из них благоприятен только один случай. Поэтому

$$p = P(5) = \frac{1}{6}.$$

2. Статистические вероятности. Если производится много наблюдений, в которых регистрируются появления и непоявления события, то за приближенное значение вероятности в тех случаях, когда неизвестна теоретическая (математическая) вероятность, о которой говорилось выше, принимают отношение числа появления событий к числу всех произведенных наблюдений. Такие вероятности называют *статистическими* (иногда — эмпирическими), или *частостями*. Статистическая вероятность может быть принята *в точности* равной теоретической только в случае бесконечно большого числа наблюдений, что, естественно, практически не осуществимо.

II. Случайные величины: дискретные и непрерывные.

1. Распределение вероятностей. Если ξ — случайная дискретная величина, принимающая значения $x_1, x_2, \ldots, x_n$, а $p_1, p_2, \ldots, p_n$ — их вероятности, то условимся эти данные записывать в виде таблицы, называемой *таблицей распределения*:

$$\xi \left\| \begin{matrix} x_1 & x_2 & \ldots & x_n. \\ p_1 & p_2 & \ldots & p_n. \end{matrix} \right.$$

В первой строке должны быть записаны все возможные значения величины ξ. Если список значений полный, то сумма вероятностей равна единице.

Пример 2. Выпущена лотерея в 100 билетов по 5 р. каждый; в ней 2 выигрыша по 50 р., 4 — по 25 р., 10 — по 10 р. Составить распределение

вероятностей выигрыша для обладателя одного билета, если стоимость билета включается в размер выигрыша.

45 р.	20 р.	5 р.	—5 р.
0,02	0,04	0,1	0,84

Из всех сумм выигрыша вычтена стоимость билета, чтобы иметь распределение вероятностей чистого выигрыша. Чтобы список значений был полным, необходимо включить и случай, когда билет не выигрывает, т. е. выигрыш отрицательный.

Если ξ — непрерывная случайная величина, то надо задать область ее значений и функцию распределения $F(x)$ или *плотность вероятности*

$$f(x)=\frac{dF(x)}{dx}.$$

Функция распределения определяется условием

$$F(x)=P(\xi<x);$$

т. е. $F(x)$ равна вероятности того, что случайная величина примет значение меньшее, чем аргумент функции. Из определения вытекают следующие свойства функции распределения:

$$F(x)=0,\ \text{если}\ x\leqslant a,\qquad\qquad \\ F(x)<1,\ \text{если}\ b>x>a,\quad f(x)=0,\ \text{если}\ \begin{cases} x<a \\ \text{или} \\ x>b, \end{cases} \\ F(x)=1,\ \text{если}\ x\geqslant b;$$

где a и b — границы области, в которой ξ — непрерывная случайная величина — может принимать любое значение.

2. Основная задача теории случайных величин. Основной задачей является вычисление вероятности того, что случайная величина примет какое-нибудь из своих значений в произвольной заданной области от α до β. Она решается поразному для дискретных и непрерывных величин.

А. Если величина ξ — дискретная, ее значения $x_1, x_2, \ldots, x_n$ расположены в порядке возрастания и $x_{l-1}\leqslant\alpha$, $x_l>\alpha$, $x_m<\beta$, $x_{m+1}\geqslant\beta$, то

$$P(\alpha<\xi<\beta)=p_l+p_{l+1}+\ \ldots\ +p_{m-1}+p_m.$$

Б. В случае непрерывной величины

$$P(\alpha<\xi<\beta)=F(\beta)-F(\alpha)=\int_\alpha^\beta f(x)\,dx.$$

В ряде прикладных задач заданный интервал от α до β называют *доверительным интервалом* (α и β — доверительные границы), а вероятность попасть в доверительный интервал называется *доверительной вероятностью.*

Обычно ставятся задачи двух типов:

а) задается доверительная вероятность (обычно близкая к единице), требуется вычислить доверительный интервал;

б) обратная задача.

3. Математическое ожидание и дисперсия случайной величины. *Математическим ожиданием* (*средним значением*) *дискретной случайной величины называется сумма произведений значений величины на их вероятности*:

$$E(\xi) = \sum_{k=1}^{n} p_k x_k.$$

Математическое ожидание произвольной функции $\varphi(\xi)$ дискретной случайной величины определяется формулой

$$E\{\varphi(\xi)\} = \sum_{k=1}^{n} p_k \varphi(x_k).$$

Математическое ожидание (среднее значение) *непрерывной случайной величины вычисляется по формуле*

$$E(\xi) = \int_a^b x f(x)\,dx.$$

Пределы интеграции можно писать от $-\infty$ до $+\infty$, так как вне области $f(x) = 0$.

Математическое ожидание функции $\varphi(\xi)$ вычисляется по формуле

$$E\{\varphi(\xi)\} = \int_a^b \varphi(x) f(x)\,dx.$$

Математическое ожидание нередко называют центром распределения случайной величины.

Дисперсией случайной величины называется математическое ожидание квадрата отклонения значений величины от ее математического ожидания. Определение пригодно и для дискретных, и для непрерывных величин, но способ вычисления зависит от вида величины. Если обозначить $\bar{x} = E(\xi)$, то

$$D(\xi) = \sum_{k=1}^{n} p_k (x_k - \bar{x})^2 \text{ — для дискретных и}$$

$$D(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^2 f(x)\,dx \text{ — для непрерывных величин.}$$

Средним квадратичным отклонением случайной величины называется корень квадратный из дисперсии. Обозначается часто буквой σ со значком, указывающим величину, или просто σ, если рассматривается только одна величина:

$$\sigma_\xi = \sigma = \sqrt{D(\xi)}.$$

4. Свойства математического ожидания и дисперсии. *Случайные величины называются взаимно независи-*

мыми, если вероятность всякого значения одной не зависит от значений других величин.

Математическое ожидание определенной (не случайной) величины равно ее значению.

Дисперсия определенной величины равна нулю.

Математическое ожидание алгебраической суммы величин равно такой же сумме их математических ожиданий.

Математическое ожидание произведения взаимно независимых случайных величин равно произведению их математических ожиданий.

Дисперсия линейной функции взаимно независимых случайных величин равна сумме произведений дисперсий составляющих величин на квадраты их коэффициентов.

Если $u = a\xi + b\eta + c$, где a, b, c — определенные величины, а ξ и η — взаимно независимые случайные величины, то

$$D(u) = a^2 D(\xi) + b^2 D(\eta) \qquad (D(c) = 0).$$

5. Равномерное распределение. Непрерывная случайная величина ξ называется *равномерно распределенной* в области от a до b, если плотность вероятности постоянна во всей области:

$$f(x) = \frac{1}{b-a}.$$

Для такой величины $\bar{x} = \frac{b+a}{2}$ (середина области), $\sigma_x = \frac{b-a}{\sqrt{12}}$. Если за начало отсчета принять середину области и обозначить $\alpha = \frac{b-a}{2}$, то область значений величины будет заключена в пределах от $-\alpha$ до $+\alpha$, $f(x) = \frac{1}{2\alpha}$, $\bar{x} = 0$, $\sigma_x = \frac{\alpha}{\sqrt{3}}$.

Равномерное распределение обычно предполагают при рассмотрении случайных ошибок округлений; если есть совокупность округленных чисел с точностью до 0,005, то принимается, что точные ошибки чисел равномерно распределены в области от —0,005 до +0,005.

Равномерность распределения принимается также, например, при рассмотрении величины наклонения орбит совокупности двойных звезд.

Пример 3. Наклонения i равновероятны (равномерно распределены) в области от —90 до +90°; требуется определить среднее значение величины $u = \sin^2 i$

$$\bar{u} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 i \, \frac{di}{\pi} = \frac{1}{2}.$$

6. Нормальное распределение. *Непрерывная случайная величина ξ называется нормально распределенной в*

области от $-\infty$ до $+\infty$, если плотность вероятности этой величины определяется формулой

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где a и σ — определенные числа.

Говорят также, что закон распределения с плотностью вероятности $f(x)$ есть *закон нормального распределения*. Математическое ожидание такой величины равно a, дисперсия равна σ^2 (значение σ — среднее квадратичное отклонение).

График плотности вероятности, называемый часто *кривой Гаусса*, имеет вид, изображенный на рис. 191. Кривая Гаусса

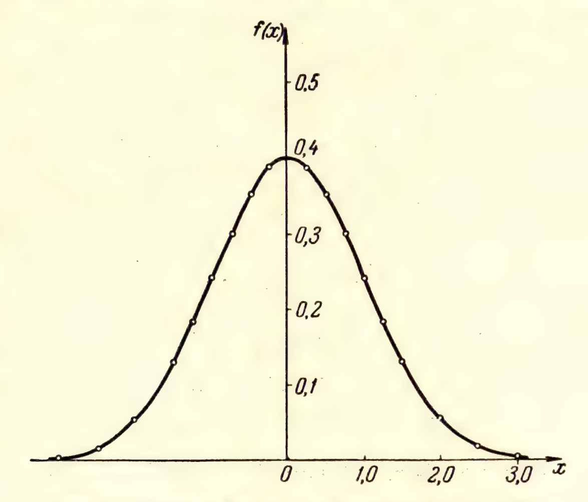


Рис. 191. Кривая Гаусса с параметрами $a=0$, $\sigma=1$.

имеет максимум при $x=a$ и две точки перегиба при $x=a\mp\sigma$; при $x\to-\infty$ и при $x\to+\infty$ кривая асимптотически стремится к оси x.

Для построения кривой Гаусса следует пользоваться таблицей функции (стр. 553)

$$\Phi'(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z^2}{2}} \qquad \text{(табл. XXXI).}$$

По заданным a и σ и разным x вычисляются $z=\frac{x-a}{\sigma}$, и тогда

$$f(x)=\frac{1}{\sigma}\Phi'(z).$$

Основная задача для нормального распределения решается просто:

$$P(\alpha<\xi<\beta)=\Phi\left(\frac{\beta-a}{\sigma}\right)-\Phi\left(\frac{\alpha-a}{\sigma}\right).$$

Значения функции $\Phi\left(\frac{\beta - a}{\sigma}\right)$ задаются таблицей (табл. XXXII стр. 553), в которой аргумент функции обозначен z. При пользовании таблицей нужно учесть, что $\Phi(-z) = -\Phi(z)$. В частности, при $\alpha = -m\sigma + a$, $\beta = m\sigma + a$ и $m > 0$ имеем:

$$P(-m\sigma < \xi - a < m\sigma) = 2\Phi(m) = P(|\xi - \alpha| < m\sigma),$$

а при $z = m = 1$ из таблиц получаем

$$P(|\xi - a| < \sigma) = 0{,}68;$$

при $m = 3$

$$P(|\xi - a| < 3\sigma) = 0{,}9973 \text{ («правило трех сигм»)}.$$

III. Основные положения теории случайных ошибок.

1. Виды ошибок измерений. а) *Систематические.* К систематическим относят ошибки, появляющиеся вследствие неточности инструментов или присущие методу измерения.

Они выявляются теорией инструментов, проверкой инструментами высокой точности, и либо определяется их величина (например, ошибки делений круга), либо они исключаются надлежащей организацией наблюдений. Пример: исключение ошибки эксцентриситета измерительного круга поворотом его на 180° и вторичным измерением угла. Действительное значение угла получается как среднее арифметическое обоих измерений, и ошибка от эксцентриситета исключается.

Задача определения систематических ошибок или их исключения рассматривается в практической астрономии.

б) *Случайные ошибки.* Случайными называют ошибки, появляющиеся по случайным причинам, дающим при измерении отклонения от точных значений. Величины этих ошибок невозможно определить.

Наличие случайных ошибок проявляется в том, что неоднократные измерения одной и той же определенной величины, выполненные в одинаковых условиях (один прибор, один наблюдатель и т. п.), дают различные числа, хотя и довольно близкие. Весьма часто расхождения между разными значениями превосходят те ошибки, которые могут быть следствием ограниченной точности измерительных приборов.

Под *теорией ошибок* обычно подразумевают именно теорию случайных ошибок.

в) *Личные ошибки.* Опыт показывает, что измерения одной и той же определенной величины, выполненные в одинаковых условиях, но разными наблюдателями, дают несколько отличающиеся результаты в зависимости от физических особенностей наблюдателя. Эти ошибки, в сущности, следует считать систематическими, но они изменяются случайным образом от наблюдения к наблюдению.

г) *Грубые ошибки.* Наблюдения, содержащие грубые ошибки, выявляются при многократных измерениях определенной величины тем, что отдельные результаты измерений заметно отличаются от всех остальных. Они являются либо результатом «зевка» наблюдателя (прочтет 20″, а запишет 30″ и т. п.), либо следствием нарушения нормальных условий (незамеченный толчок и т. п.). Если сомнительный результат измерения сильно отличается от остальных, то можно с уверенностью полагать, что допущена грубая ошибка, и это измерение следует исключить. Если отличие не очень большое, то неясно, имеем ли мы дело с ошибкой или с неблагоприятной случайной комбинацией факторов, вызвавших большую (по модулю) случайную ошибку. Вопрос решается после предварительной обработки материала способом, который будет указан ниже.

2. Закон распределения случайных ошибок и способы оценки их. Для случайных ошибок примем *нормальный закон распределения с центром, равным нулю.* Если a есть неизвестное точное значение измеряемой определенной величины, x — какой-нибудь из случайных результатов измерений, то значением случайной ошибки назовем число

$$x - a = \delta.$$

Предположение о нормальном законе означает, что плотность вероятности случайных значений δ определяется формулой

$$f(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}.$$

Из свойств нормального распределения имеем

$$P(|\delta| < \sigma) = 0{,}68, \quad P(|\delta| < 3\sigma) = 0{,}9973.$$

Последним равенством пользуются для выявления измерений с грубыми ошибками. Приняв за приближенное значение измеряемой величины среднее значение $\bar{x}$, найдем приближенные значения ошибок. Если среди них найдутся такие, модуль которых превышает 3σ, то соответствующие измерения считаются содержащими грубые ошибки и отбрасываются.

Число σ называется *средней квадратичной ошибкой одного измерения*; для краткости дальше будем пользоваться термином «*средняя ошибка*». Чем больше σ, тем менее точны измерения. Каждый тип измерений характеризуется определенным значением σ.

Результаты измерений также случайны. Для них плотность вероятности имеет вид

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где σ имеет то же значение, что и в $f(\delta)$.

Вместо средней ошибки одного измерения пользуются и другими числовыми характеристиками рассеяния (возможного разброса) случайных ошибок:

$$\textit{вероятная ошибка } r \approx \frac{2}{3}\sigma,$$

$$\textit{мера точности } h \approx \frac{0{,}71}{\sigma}.$$

Числа σ и r уменьшаются при увеличении точности, число h растет с увеличением точности.

Если сопоставляются измерения разных типов, в которых, следовательно, величины средних ошибок различны ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \ldots$ $\ldots, \sigma_n$), то в дополнение (или взамен этих величин) вводят новые числовые характеристики, называемые *весами*. Такие измерения называют *неравноточными*.

Определение. *Относительными весами* неравноточных измерений называются числа, обратно пропорциональные квадратам средних ошибок (дисперсиям случайных ошибок).

Если обозначим веса $p_1, p_2, p_3, \ldots, p_n$, то по определению

$$p_1 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2}, \quad p_2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_2^2}, \quad p_3 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_3^2}, \ldots, p_n = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_n^2},$$

где σ_0^2 — коэффициент пропорциональности, выбираемый произвольно (веса — числа относительные). Если σ_0 равно какой-нибудь из средних ошибок измерений, то вес этого измерения равен единице. Поэтому σ_0 называют *средней квадратичной ошибкой единицы веса* (иногда говорят: на единицу веса); более аккуратное и точное название — *средняя квадратичная ошибка измерения с весом единица*. Мы будем для сокращения говорить «*единичная средняя ошибка*». Если $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_n$ неизвестны, но из условий измерений вытекает, что они неравноточны, то веса назначают более или менее произвольно, так чтобы более надежные и более точные измерения имели бóльшие веса, чем менее точные.

Примером неравноточных измерений является случай, когда собраны средние арифметические наблюдений одной определенной величины, полученные из разных количеств измерений. Пусть x_1 получено из n_1 наблюдений, x_2 — из n_2 измерений, и т. д. В таком случае за веса измерений $p_1, p_2, \ldots, p_n$ принимают числа $n_1, n_2, \ldots, n_n$.

§ 3. Способ наименьших квадратов

I. Обработка равноточных измерений определенной величины.

Формулировка задачи. Обозначим точное значение измеряемой величины a. Вследствие случайных ошибок при измерениях получаем разные числа $x_1, x_2, \ldots, x_n$; средняя ошибка σ

каждого измерения одна и та же, но она неизвестна. Требуется определить приближенные значения величин a и σ и оценить погрешность этих приближений.

1. *За приближенное значение измеряемой величины* обычно принимается среднее арифметическое результатов измерений

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}.$$

Оно является *наиболее вероятным значением определяемой величины*, если случайные ошибки распределены нормально, и получается из условия, что сумма квадратов отклонений приближенного значения от измерений имеет наименьшее значение. Поэтому говорят, что $\bar{x}$ получается по *способу наименьших квадратов.*

Надежность значения $\bar{x}$ оценивается средней ошибкой среднего арифметического, которая вычисляется по формуле

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}};$$

в этой формуле в правой части подставляется приближенное значение σ, об определении которого будет сказано в следующем пункте.

2. *Приближенное значение средней ошибки одного измерения* получается по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} (x_k - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

Это — наиболее вероятное значение, какое можно получить из совокупности измерений.

Пример и схема вычислений. Азимут одной стороны тригонометрической сети определен шесть раз. Найти наивероятнейшее значение азимута, среднюю ошибку одного измерения и наивероятнейшего значения.

№ измер.	A_k	a_k	$a_k - \bar{a}$	$(a_k - \bar{a})^2$
1	60°02′35,″6	+5″,6	1″,7	2,89
2	60 02 44,2	+14,2	10,3	106,09
3	60 02 27,6	−2,4	−6,3	39,69
4	60 02 21,0	−9,0	−12,9	166,41
5	60 02 33,2	+3,2	−0,7	0,49
6	60 02 41,8	+11,8	+7,9	62,41
Суммы		+23″,4	(0″,0)	377,98 (377,98)

$A_0 = 60°\ 02'\ 30''$; $A = 60°\ 02'\ 33'',9 \pm 3'',6$; $\bar{a} = 3'',9$

Пояснения. Чтобы не складывать громоздкие измеренные значения азимута, вводим временно новое начало отсчета A_0. В 3-м столбце выписаны $a_k = A_k - A_0$. Для них и будем искать среднее значение. Среднее $\bar{A} = A_0 + \bar{a}$.

В 4-м столбце числа $a_k - \bar{a}$ сложены для контроля; их сумма должна точно равняться нулю, если $\bar{a}$ найдено делением точно, как в примере. Если этого нет, то сумма чисел $a_k - \bar{a}$ будет немного отличаться от нуля. Средняя квадратичная ошибка среднего арифметического оказалась равной $\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{377,98}{6 \cdot 5}} = 3'',6$.

II. Обработка неравноточных измерений определенной величины.

Формулировка задачи. При измерении определенной величины a получены значения $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$. Средние ошибки измерений $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_n$ не равны между собой.

Если $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_n$ заданы, то по ним следует вычислить относительные веса, задав произвольно предварительное значение средней квадратичной ошибки единицы веса σ_0 (см. § 2, III, 2).

Веса вычисляются по формулам:

$$p_1 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2}, \quad p_2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_2^2}, \ \ldots, \ p_n = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_n^2}.$$

Если $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_n$ не заданы, то должны быть заданы веса по сведениям о надежности измерений.

Требуется определить приближенное значение величины a (которое мы обозначим $\bar{x}$) и средней квадратичной ошибки на единицу веса по заданным значениям $x_1, x_2, \ldots, x_n$ и весам; кроме того, необходимо вычислить среднюю квадратичную ошибку найденного приближения $\bar{x}$. Если были заданы $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_n$, то принятое для вычисления весов σ_0 только предварительное. Окончательным является то, которое вычисляется по весам и измерениям.

1. *За приближенное значение измеряемой величины* принимается среднее весовое, вычисляемое по формуле

$$\bar{x} = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + \ldots + p_n x_n}{p_1 + p_2 + \ldots + p_n}.$$

Среднее весовое есть наиболее вероятное значение измеряемой величины, какое можно получить из неравноточных измерений с заданными весами.

Оно получается из условия минимума весовой суммы квадратов отклонений от среднего весового:

$$\sum_{k=1}^{n} p_k (x_k - \bar{x})^2 < \sum_{k=1}^{n} p_k (x_k - a)^2, \quad \text{если} \quad a \neq \bar{x}.$$

Из выражения для среднего весового следует тождество, используемое для контроля:

$$\sum_{k=1}^{n} p_k (x_k - \bar{x}) = 0 \quad (\text{если } \bar{x} \text{ вычислено точно}).$$

2. *Приближенное значение единичной средней ошибки.* Эта величина вычисляется после определения $\bar{x}$ по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} p_k (x_k - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

3. *Средняя ошибка среднего весового.* Эта величина, обозначенная $\sigma_{\bar{x}}$, может считаться мерой надежности найденного приближенного значения измеряемой величины. Она вычисляется по формуле

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{P}},$$

где $P = \sum_{k=1}^{n} p_k$.

III. Определение неизвестных из уравнений по способу наименьших квадратов.

1. Условные (начальные) уравнения. Рассматривается следующая задача. Подлежащие определению величины x, y, z непосредственно не наблюдаются. Вместо них из наблюдений определяются величины $l_1, l_2, \ldots, l_n$, связанные с неизвестными функциональными зависимостями. Мы ограничимся предположением о линейных зависимостях, которые в случае трех неизвестных имеют вид

$$\begin{aligned} a_1x + b_1y + c_1z + l_1 &= 0, \\ a_2x + b_2y + c_2z + l_2 &= 0, \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ a_nx + b_ny + c_nz + l_n &= 0, \end{aligned}$$

где $a_1, a_2, \ldots, a_n$, $b_1, b_2, \ldots, b_n$, $c_1, c_2, \ldots, c_n$ — известные числа, изменяющиеся от наблюдения к наблюдению. Числа $l_1, l_2 \ldots$ содержат случайные ошибки; чтобы уменьшить их влияние, составляют много уравнений, гораздо больше, чем неизвестных, если возможно. Написанные уравнения называют *условными* или *начальными*. Благодаря наличию случайных ошибок система этих уравнений несовместна, т. е. нет таких чисел x, y, z, которые удовлетворяли бы всем уравнениям. Если вместо них подставить какие-нибудь определенные числа, то в левых ча-

стях не получится нулей и уравнения надо, в сущности, писать так:

$$a_1x + b_1y + c_1z + l_1 = \delta_1,$$
$$a_2x + b_2y + c_2z + l_2 = \delta_2,$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots$$
$$a_nx + b_ny + c_nz + l_n = \delta_n$$

и т. д., где $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ — числа, зависящие от подставленных значений x, y, z; они называются *невязками.*

Для решения такой системы вводится условие — принцип Лежандра: *если дана система равноточных условных уравнений, то неизвестные x, y, z определяются так, чтобы сумма квадратов невязок была наименьшей.*

Условные уравнения равноточны, если равноточны измерения $l_1, l_2, \dots, l_n$. Коэффициенты при неизвестных, по предположению, не содержат случайных ошибок.

Если условные уравнения неравноточны, то нужно найти веса чисел $l_1, l_2, \dots, l_n$ и умножить каждое условное уравнение на корень квадратный из его веса. К преобразованной системе можно применить принцип Лежандра. Операция умножения условных уравнений на корни квадратные из их весов эквивалентна следующему видоизменению (обобщению) принципа Лежандра: *если условные уравнения неравноточны и известны их веса, то неизвестные вычисляются так, чтобы сумма произведений квадратов невязок на соответствующие веса была наименьшей.*

Если случайные ошибки измерений $l_1, l_2, \dots, l_n$ подчиняются нормальному закону распределения, то применение принципа Лежандра (простого и обобщенного) дает наиболее вероятные значения неизвестных.

2. Нормальные уравнения. Из принципа Лежандра вытекает следующая система уравнений, называемых *нормальными*, для определения неизвестных:

а) Для равноточных условных уравнений:

$$[aa]\,x + [ab]\,y + [ac]\,z + [al] = 0,$$
$$[ba]\,x + [bb]\,y + [bc]\,z + [bl] = 0,$$
$$[ca]\,x + [cb]\,y + [cc]\,z + [cl] = 0,$$

где

$$[aa] = \sum_{k=1}^{n} a_k^2, \quad [ab] = \sum_{k=1}^{n} a_k b_k = [ba], \quad [ac] = \sum_{k=1}^{n} a_k c_k,$$

$$[al] = \sum_{k=1}^{n} a_k l_k = [la], \quad [bb] = \sum_{k=1}^{n} b_k^2,$$

$$[bc] = \sum_{k=1}^{n} b_k c_k.$$

По таким правилам вычисляются все коэффициенты.

б) Для неравноточных условных уравнений:

$$[paa]\,x + [pab]\,y + [pac]\,z + [pal] = 0,$$
$$[pba]\,x + [pbb]\,y + [pbc]\,z + [pbl] = 0,$$
$$[pca]\,x + [pcb]\,y + [pcc]\,z + [pcl] = 0.$$

В этих уравнениях $[paa] = \sum_{k=1}^{n} p_k a_k^2$, где $p_1, p_2, \ldots, p_n$ — веса условных уравнений; аналогично вычисляются и все другие коэффициенты. Обозначения для коэффициентов нормальных уравнений были введены Гауссом.

Можно сформулировать следующее общее правило составления нормальных уравнений: *чтобы составить первое нормальное уравнение, нужно каждое условное уравнение умножить на его коэффициент при первом неизвестном и на вес условного уравнения и все преобразованные уравнения сложить; чтобы составить второе нормальное уравнение, нужно каждое условное уравнение умножить на его коэффициент при втором неизвестном и на вес и все преобразованные уравнения сложить.* По аналогичным правилам составляются все нормальные уравнения. Если условные уравнения равноточны, то вес каждого можно считать единицей и умножения на веса отпадают. Если выделить только коэффициенты при неизвестных, то получится квадратная числовая таблица, обладающая следующими свойствами:

а) числа на главной диагонали (от верхнего левого числа до нижнего правого) положительны;

б) таблица симметрична относительно главной диагонали:

$$([ab] = [ba], \quad [bc] = [cb], \quad [ca] = [ac]).$$

Эти свойства сохраняются при любом числе неизвестных.

3. *Контроль составления нормальных уравнений.* Рекомендуются следующие контрольные вычисления при составлении нормальных уравнений в случае равноточных условных уравнений.

а) В каждом условном уравнении вычисляется сумма коэффициентов при неизвестных и свободного члена:

$$a_1 + b_1 + c_1 + l_1 = s_1,$$
$$a_2 + b_2 + c_2 + l_2 = s_2,$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$a_n + b_n + c_n + l_n = s_n.$$

б) Эти суммирования в свою очередь контролируются следующим способом; складываются все коэффициенты при каждом неизвестном, все свободные члены и все числа s; должно точно

выполняться равенство

$$[a]+[b]+[c]+[l]=[s],$$

в котором $[a]=a_1+a_2+\ldots+a_n$; аналогично раскрываются все остальные символы.

в) Вычисляются суммы произведений:

$$[as]=\sum_{k=1}^{n} a_k s_k, \quad [bs]=\sum_{k=1}^{n} b_k s_k, \quad [cs]=\sum_{k=1}^{n} c_k s_k.$$

г) Контроль правильности составления нормальных уравнений заключается в проверке тождеств:

$$[aa]+[ab]+[ac]+[al]=[as],$$
$$[ba]+[bb]+[bc]+[bl]=[bs],$$
$$[ca]+[cb]+[cc]+[cl]=[cs].$$

Если назвать $[as]$, $[bs]$, ... и т. д. первым, вторым и т. д. контрольными числами, то правило контроля формулируется так: сумма коэффициентов при неизвестных и свободного члена в первом нормальном уравнении должна равняться первому контрольному числу, сумма коэффициентов и свободного члена второго нормального уравнения должна равняться второму контрольному числу, и т. д. до последнего нормального уравнения.

4. Решение нормальных уравнений по способу Гаусса. Способом Гаусса называют обычно способ последовательного исключения неизвестных в том порядке, в каком они идут в нормальных уравнениях. Способ состоит из ряда операций, которые будут подробно описаны для уравнений с тремя неизвестными, но легко обобщаются и для уравнений с произвольным числом неизвестных.

а) Составляется первое уравнение исключения, в котором первое неизвестное выражается через остальные из первого нормального уравнения; получается:

$$x=-\frac{[ab]}{[aa]}y-\frac{[ac]}{[aa]}z-\frac{[al]}{[aa]}.$$

б) Это выражение подставляется в остальные нормальные уравнения, и получается первая промежуточная система, не содержащая x:

$$[bb1]\,y+[bc1]\,z+[bl1]=0,$$
$$[cb1]\,y+[cc1]\,z+[cl1]=0,$$

в которой

$$[bb1]=[bb]-\frac{[ab]\,[ba]}{[aa]}, \quad [bc1]=[bc]-\frac{[ba]\,[ac]}{[aa]}=[cb1],$$

$$[cc1]=[cc]-\frac{[ac]\,[ca]}{[aa]}, \quad [bl1]=[bl]-\frac{[ab]\,[al]}{[aa]},$$

$$[cl1]=[cl]-\frac{[ac]\,[al]}{[aa]}.$$

Промежуточная система обладает свойствами нормальной системы. Квадратная таблица, составленная из ее коэффициентов, имеет положительные числа на главной диагонали и симметрична относительно главной диагонали.

в) Составляется второе уравнение исключения, в котором второе неизвестное выражается через остальные из первого уравнения первой промежуточной системы,

$$y = -\frac{[bc1]}{[bb1]} z - \frac{[bl1]}{[bb1]}.$$

г) Выражение для y подставляется во все остальные (у нас в одно) уравнения первой промежуточной системы; получится вторая промежуточная система с числом неизвестных на два меньше, чем их начальное число (в нашем случае это будет одно уравнение, содержащее только z). Получим:

$$[cc2]\, z + [cl2] = 0,$$

где

$$[cc2] = [cc1] - \frac{[bc1]\,[cb1]}{[bb1]}, \quad [cl2] = [cl1] - \frac{[bl1]\,[bc1]}{[bb1]}.$$

Действия, указанные в перечисленных пунктах, называют п р я м ы м х о д о м в способе Гаусса. После них начинается о б р а т н ы й х о д — последовательное вычисление неизвестных.

д) Из последнего уравнения с одним неизвестным найдем его, т. е. сделаем операции такие же, как и при составлении уравнений исключения. Получим:

$$z = -\frac{[cl2]}{[cc2]}.$$

е) Подставим вычисленное z во второе (предыдущее) уравнение исключения и получим y.

ж) Подставим z и y в первое уравнение исключения и получим x. Вычисленные при обратном ходе значения неизвестных обозначим

$$\bar{x},\ \bar{y},\ \bar{z}.$$

5. О с т а ю щ и е с я п о г р е ш н о с т и. Корни нормальных уравнений x, y, z нужно подставить во все условные уравнения. Получим невязки, удовлетворяющие условию Лежандра; эти невязки называют *остающимися погрешностями* или *остатками.* Остатки будем обозначать $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_n$.

Для дальнейших вычислений потребуется сумма квадратов остатков. Она может быть вычислена непосредственно по отдельным остаткам, но полученное число лучше сохранить для контроля, так как его предельная погрешность может быть большой. Сумма квадратов остатков точнее вычисляется по формуле

$$\sum_{k=1}^{n} \varepsilon_k^2 = [ll] + \bar{x}\,[al] + \bar{y}\,[bl] + \bar{z}\,[cl].$$

Для этой формулы потребуется предварительно вычислить сумму квадратов свободных членов условных уравнений $[ll]$.

6. В ы ч и с л е н и е в е с о в н е и з в е с т н ы х.

а) Если условные и нормальные уравнения содержат только два неизвестных, то веса неизвестных вычисляются по формулам

$$p_x = \frac{[aa][bb] - [ab]^2}{[bb]}, \quad p_y = \frac{[aa][bb] - [ab]^2}{[aa]}.$$

б) Если число неизвестных больше двух, то удобно использовать способ Гаусса, применимый *при условии*, что *во время решения нормальных уравнений производятся только те арифметические действия, которые необходимы для этого способа.* В процессе решения нормальных уравнений нельзя умножать или делить уравнения на какие-нибудь числа (что разрешается при обычных алгебраических способах решения уравнений). Если, например, одно из промежуточных уравнений имеет вид

$$20y + 30z - 50 = 0,$$

то нельзя сократить его на 10 и написать

$$2y + 3z - 5 = 0;$$

дальнейшие действия надо производить над несокращенным уравнением. При этом условии выполняется следующее правило Гаусса: *вес последнего неизвестного равен коэффициенту при этом неизвестном в последнем уравнении* (*содержащем только это неизвестное*). Легко найти вес предпоследнего неизвестного по дополнению к правилу Гаусса: вес предпоследнего неизвестного равен произведению веса последнего неизвестного на отношение коэффициентов при предпоследнем и последнем неизвестных в предпоследней промежуточной системе, содержащей два неизвестных. Пусть, например, при четырех неизвестных x, y, z, u последнее промежуточное уравнение имеет вид $4{,}2\,u - 7{,}6 = 0$, а предпоследняя промежуточная система —

$$3{,}6z + 5{,}8u - 11{,}4 = 0,$$

$$5{,}8z + 6{,}3u - 14{,}5 = 0.$$

Тогда

$$p_u = 4{,}2, \quad p_z = 4{,}2 \cdot \frac{3{,}6}{6{,}3} = 2{,}4.$$

Правила для вычисления весов остальных неизвестных были бы громоздкими. Поэтому применяется следующий способ. После вычисления весов двух последних неизвестных переставляют неизвестные в основных нормальных уравнениях так, чтобы последние неизвестные стали первыми, а последними стали бы другие неизвестные, веса которых еще нужно вычислять. При этом п е р е с т а в л я ю т с я с т о л б ц ы в системе

нормальных уравнений; обязательно нужно сделать перестановку уравнений (строк), такую же, как перестановка столбцов.

7. Вычисление средних квадратичных ошибок неизвестных.

а) Вычисление средней ошибки одного условного уравнения. Обозначим ее σ; эту величину можно назвать также *средней ошибкой измерения с весом единица*, так как условные уравнения считаются равноточными и вес каждого принимается равным единице. Число σ вычисляется по формуле

$$\sigma=\sqrt{\frac{S}{n-m}},$$

где S — сумма квадратов остающихся погрешностей, вычисляемая по формуле п. III, 5; $S=[ll]+\bar{x}[al]+\bar{y}[bl]+\bar{z}[cl]$, n — число условных уравнений, m — число неизвестных. Если случайные ошибки чисел l_k в условных уравнениях подчинены нормальному закону распределения, то приведенная формула дает наиболее вероятное значение σ, какое возможно получить из результатов измерений.

Напомним, что остающиеся погрешности ε_1, ε_2, ... должны быть вычислены, чтобы обнаружить грубо ошибочные условные уравнения (если они есть). Если какое-нибудь из чисел ε превышает 3σ, то по принятому соглашению считают вероятным, что в соответствующем условном уравнении есть грубая ошибка. Такие уравнения отбрасывают, снова составляют нормальные уравнения, решают их и т. д. Так как получается много лишней работы, то рекомендуется, если возможно, по сведениям об измерениях, давших условные уравнения, заранее выявить ненадежные и отбросить их до составления нормальных уравнений.

б) Вычисление средних ошибок неизвестных. Они вычисляются по формулам

$$\sigma_x=\frac{\sigma}{\sqrt{p_x}},\quad \sigma_y=\frac{\sigma}{\sqrt{p_y}},\quad \sigma_z=\frac{\sigma}{\sqrt{p_z}}.$$

Результаты записываются, как при прямых измерениях:

$$x=\bar{x}\pm\sigma_x,\quad y=\bar{y}\pm\sigma_y,\quad z=\bar{z}\pm\sigma_z.$$

По величинам σ_x, σ_y, ... можно вычислять вероятности для неизвестных быть в заданных границах по формулам нормального распределения (если случайные ошибки подчинены нормальному закону) или по неравенству Чебышева, если ничего не известно о законе распределения ошибок).

8. П р и м е р и с х е м а в ы ч и с л е н и й.

Даны условные уравнения:

	(a)	(b)	(c)	(l)	(s)	(ε)	(ε²)
	$1{,}78x$	$+1{,}48y$	$-2{,}37z$	$+17{,}8=0$	$+18{,}69$	$+0{,}62$	$0{,}38$
	$-2{,}50x$	$+2{,}22x$	$-1{,}78z$	$-18{,}2=0$	$-20{,}26$	$-2{,}17$	$4{,}71$
	$-3{,}36x$	$+3{,}21y$	$-0{,}21z$	$-16{,}4=0$	$-16{,}76$	$+1{,}85$	$3{,}42$
	$+1{,}81x$	$+1{,}51y$	$+0{,}20z$	$+20{,}3=0$	$+23{,}82$	$-0{,}23$	$0{,}05$
	$-1{,}70x$	$+1{,}37y$	$+1{,}78z$	$-9{,}0=0$	$-7{,}55$	$-1{,}13$	$1{,}28$
	$1x$	$+0{,}13y$	$-0{,}05z$	$+8{,}2=0$	$+9{,}28$	$-0{,}65$	$0{,}42$
	$1x$	$+0{,}09y$	$+0{,}02z$	$+7{,}6=0$	$+8{,}71$	$-1{,}20$	$1{,}44$
Суммы	$-1{,}97$	$+10{,}01$	$-2{,}41$	$+10{,}3$	$+15{,}93$ (15,93)		$11{,}70$

Над столбцами коэффициентов и свободного члена даны их обозначения *a*, *b*, *c*, *l*. Справа от условных уравнений выписан столбец (*s*), т. е. суммы коэффициентов при неизвестных и свободных членов в каждом условном уравнении. Эти суммы контролируются описанным выше (III, 5) способом. Поэтому внизу, под чертой, выписаны суммы коэффициентов и свободных членов и сложены все числа *s*. Так как сумма всех *s* равна сумме сумм коэффициентов и свободных членов, то можно считать, что ошибок в подсчете *s* нет. Дополнительные столбцы (ε) и (ε²) заполняются позже.

А. Переходим к вычислению коэффициентов нормальных уравнений. Если есть арифмометр, то каждый коэффициент, представляющий сумму произведений по два множителя в каждом, может быть получен методом накопления. Мы запишем полную схему образования части коэффициентов, которой нужно пользоваться, если нет арифмометра. Получаем

aa	ab	ac
3,1684	+2,6344	−4,2186
6,2500	−5,5500	+4,4500
11,2896	−10,7856	+0,7056
3,2761	+2,7331	+0,3620
2,8900	−2,3290	−3,0260
1,0000	+0,1300	−0,0500
1,000	+0,0900	+0,0200
28,8741 [aa]	−13,0771 [ab]	−1,7570 [ac]

и аналогично:

$[al] = +200{,}1310;$
$[as] = +214{,}1710;$
$[bb] = +21{,}6049;$
$[bc] = -5{,}3974;$

$[bl] = -46{,}6310;$ $[cc] = +12{,}047;$ $[bs] = -43{,}5006;$

$[cl] = -18{,}5640;$ $[cs] = -13{,}6777:$ $[ll] = +15{,}3513$

После вычисления коэффициентов производится контроль вычислений по трем формулам: $[as] = [aa] + [ab] + [ac] + [al]$ и двум другим, ей аналогичным.

Точное выполнение равенств будет иметь место, если при умножениях результаты выписываются со всеми получаемыми знаками.

В схему вычислений была включена сумма квадратов свободных членов условных уравнений [*ll*]; она не нужна для составления нормальных уравнений, но потребуется для вычисления суммы квадратов остающихся погрешностей. После проверки коэффициентов нормальных уравнений напишем нормальные уравнения, учитывая, что коэффициенты условных уравнений, особенно свободные члены, — числа приближенные, поэтому не все формально полученные знаки верны. Мы оставили в коэффициентах нормальных уравнений по два знака после запятой — столько же, сколько их было в коэффициентах условных уравнений; при отбрасывании знаков соблюдаются правила округления.

Б. Нормальные уравнения. Решение по способу Гаусса

	Контрольные числа
$28{,}87x - 13{,}08y - 1{,}76z + 200{,}13 = 0$	$+214{,}17$
$-13{,}08x + 21{,}60y - 5{,}40z - 46{,}63 = 0$	$-43{,}50$
$-1{,}76x - 5{,}40y + 12{,}04z - 18{,}56 = 0$	$-13{,}68$
$\bar{x} = -8{,}486x = 0{,}453y + 0{,}061z - 6{,}932$	1-я строка исключения
$15{,}67y - 6{,}20z + 44{,}04 = 0$	1-я промеж. система
$-6{,}20y + 11{,}93z - 6{,}36 = 0$	
$\bar{y} = -3{,}273z = +0{,}396z - 2{,}810$	2-я строка исключения
$9{,}47z + 11{,}06 = 0$	2-я промеж. система
$\bar{z} = -1{,}168$	(последняя)

Б₁. Вторичное решение нормальных уравнений.

В системе нормальных уравнений поменяем местами первый и третий столбцы. Одновременно поменяем местами первое и третье уравнения. Решаем по схеме Гаусса.

	Контрольные числа
$12{,}04z - 5{,}40y - 1{,}76x - 18{,}56 = 0$	$-13{,}68$
$-5{,}40z + 21{,}60y - 13{,}08x - 46{,}63 = 0$	$-43{,}50$
$-1{,}76z - 13{,}08y + 28{,}87x + 200{,}13 = 0$	$+214{,}17$
$\bar{z} = -1{,}166z = +0{,}449y + 0{,}146x + 1{,}542$	
$19{,}18y - 13{,}87x - 54{,}96 = 0$	
$-13{,}87y + 28{,}61x + 197{,}42 = 0$	
$\bar{y} = -3{,}271y = +0{,}723x + 2{,}865$	
$18{,}58x + 157{,}68 = 0$	
$x = -8{,}487$	

Основные и повторные значения неизвестных согласуются достаточно хорошо; это означает, что ошибки от округлений малы. За окончательные значения неизвестных можно принять средние арифметические двух значений. Получаем:

$$\bar{x} = -8{,}486, \quad \bar{y} = -3{,}272, \quad \bar{z} = -1{,}167.$$

В. Вычисление остающихся погрешностей и средней ошибки одного уравнения.

Сначала вычислим остатки каждого из условных уравнений. Результаты запишем в столбце рядом с условными уравнениями (они обозначены $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \ldots$). Там же приведены значения ε_k^2 и их сумма $S = 11{,}70$. Вычисление S по формуле

$$S = [ll] + \bar{x}\,[al] + \bar{y}\,[bl] + \bar{z}\,[cl]$$

дает $S = 11{,}06$.

Так как в этом значении накопление погрешностей несколько меньше, чем в сумме квадратов, то принимаем $S = 11{,}06$. По формуле имеем

$$\sigma^2 = \frac{11{,}06}{7-3} = 2{,}76; \quad \sigma = 1{,}66.$$

Из остаточных погрешностей нет ни одной, которая заметно превышала бы единичную среднюю ошибку. Поэтому можно считать, что в измерениях не было грубых ошибок (по крайней мере крупных).

Г. Вычисление весов и средних ошибок неизвестных.

По правилу Гаусса первое решение нормальных уравнений дает вес

$$p_z = 9{,}47.$$

По дополнению к правилу Гаусса

$$p_y = 9{,}47 \cdot \frac{15{,}67}{11{,}93} = 9{,}47 \cdot 1{,}31 = 12{,}41.$$

Второе решение даст

$$(p_x) = 18{,}58, \quad (p_y) = 18{,}58 \cdot \frac{19{,}18}{28{,}61} = 18{,}58 \cdot 0{,}670 = 12{,}45.$$

Здесь скобка означает контрольное значение.

Примем веса такими:

$$p_x = 18{,}6, \quad p_y = 12{,}4, \quad p_z = 9{,}47.$$

Средние квадратичные ошибки неизвестных определятся по формулам

$$\sigma_x^2 = \frac{2{,}76}{18{,}6} = 0{,}148, \quad \sigma_y^2 = \frac{2{,}76}{12{,}4} = 0{,}223, \quad \sigma_z^2 = \frac{2{,}76}{9{,}47} = 0{,}291.$$

Отсюда

$$\sigma_x = 0{,}385, \quad \sigma_y = 0{,}472, \quad \sigma_z = 0{,}539.$$

Результаты можно написать в виде

$$x = -8{,}486 \pm 0{,}385, \quad y = -3{,}272 \pm 0{,}472, \quad z = -1{,}167 \pm 0{,}539.$$

Принимая во внимание, что средние ошибки неизвестных не малы, можно считать, что выписанные формально знаки в приближенных значениях неизвестных не все надежны. Поэтому можно записать результаты и так:

$$x = -8{,}5 \pm 0{,}4, \quad y = -3{,}3 \pm 0{,}5, \quad z = -1{,}2 \pm 0{,}5;$$

наиболее ненадежно определяется из сделанных наблюдений величина z.

§ 4. Приближенное изображение функциональной зависимости

1. Постановка задачи. Наблюдения дали ряд значений функции x и аргумента t (или нескольких аргументов). Требуется построить функцию, которая достаточно удовлетворительно представляла бы наблюденный (эмпирический) материал.

Такие функции часто называют *эмпирическими*. Назначение эмпирических функций:

а) использование для интерполяции, т. е. для приближенного вычисления значений функции при таких значениях аргумента, которых нет в таблице наблюдений;

б) поиски связей между величинами, чтобы изучить хотя бы приближенные законы явления.

Постановка задачи имеет смысл в том случае, если учтены все те аргументы, которые существенно влияют на значения функции. При решении задачи надо считаться с тем, что значения функции искажены случайными ошибками измерений и неучтенным влиянием других аргументов, которые по предположению вносят дополнительные небольшие ошибки.

Из содержания задачи видно, что необходимо ввести два соглашения, чтобы задача стала определенной:

1) соглашение о выборе аналитического вида функции;

2) соглашение о том, что значит понятие «удовлетворительного» (возможно лучшего) представления наблюдений.

Простейшим методом, решающим одновременно оба вопроса, является *графическая интерполяция* в случае функции одного аргумента. По наблюдениям строят график, введя прямоугольную систему координат (t, x). Затем проводят плавную кривую («от руки») между точками графика так, чтобы она примерно одинаково отклонялась от эмпирических точек. Этот способ не годится для вывода формулы, но он может быть использован для интерполяции: задавая значение аргумента, откладываем его на оси абсцисс и в полученной точке восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой. Ордината точки пересечения определит искомое значение функции.

В этом способе оба указанных вопроса (выбор формулы и соглашение о точности приближения) решает глаз исследователя. Способ можно использовать только в тех задачах, в которых можно ограничиться грубыми результатами и пренебречь последствиями произвола исследователя.

II. Выбор вида эмпирической формулы. Выбор аналитической структуры функции, представляющей приближенно данную табличную функцию, есть наиболее неопределенная часть работы.

В § 1 этой главы решалась задача о приближении табличной функции (только для интерполирования). Там в качестве приближающей функции брался алгебраический полином; иногда при точечной интерполяции берут тригонометрический полином.

Алгебраическими полиномами часто пользуются и при построении эмпирических формул, но условие об удовлетворительности приближения берется иное.

Независимо от типа формулы можно сделать одно общее указание: формула должна содержать несколько параметров, чтобы можно было подбором значений параметров получить приближение к любой табличной функции, полученной наблюдениями. Как будет ясно из следующего пункта, весьма желательно, чтобы параметры входили линейно или формула простыми преобразованиями приводилась к линейному виду. Простейшим типом таких формул являются алгебраические полиномы, так как в них подлежат определению коэффициенты, а всякий алгебраический полином представляет линейную функцию своих коэффициентов.

Приведем примеры формул, легко приводящихся к линейному относительно параметров виду. Атмосферная рефракция на разных высотах светила над горизонтом может быть приближенно представлена формулой вида

$$R = \frac{a}{b + \operatorname{tg} h}.$$

где a и b — параметры, подлежащие определению по сведениям о величине рефракции при ряде значений h.

Формула нелинейна относительно b; если освободиться от знаменателя, получим:

$$a - Rb = R \operatorname{tg} h,$$

и формула превращается в линейную относительно параметров.

Второй пример: пусть рассматривается явление непрерывного роста или убывания, для которого следует взять формулу, содержащую показательную функцию

$$x = ae^{bt};$$

в ней a и b — параметры, e — основание натуральных логарифмов. Формула нелинейна относительно параметра b. Логарифмируем равенство по основанию 10:

$$\lg x = \lg a + bt \lg e.$$

Обозначим $\lg a = \alpha$, $b \lg e = \beta$, $\lg x = \eta$, где α и β — новые параметры, а η — новая функция.

Получаем формулу

$$\eta = \alpha + \beta t,$$

линейную относительно параметров α и β для функции η. Определив по наблюдениям числа α и β, перейдем к начальному виду формулы потенцированием.

Оба примера показывают, что не всегда следует искать приближенные формулы непосредственно для наблюдаемых величин. В первом примере естественный аргумент h заменен его функцией $\operatorname{tg} h$. Во втором примере вместо функции x берется $\eta = \lg x$.

Определенных правил для подбора эмпирических формул не может быть. Можно дать только некоторые общие указания.

1) Если речь идет о функции x одного аргумента t, т. е. даны числа

$$t_1, \quad t_2, \ \ldots, \ t_n,$$
$$x_1, \quad x_2, \ \ldots, \ x_n,$$

то выбирают оси прямоугольных координат (t, x) и строят по точкам график, который даст общее представление о возможном виде графика искомой функциональной зависимости. В дополнение к этому строят еще два-три графика не для самих t и x, а для некоторых их функций, например логарифмов или тригонометрических функций.

По виду графиков можно попробовать выяснить, какой функцией лучше приближенно представить материал.

Если, например, можно наметить прямую, около которой группируются точки графика, то естественно попробовать подобрать линейную эмпирическую формулу.

Если точки располагаются вдоль обеих осей координат, т. е. как бы группируются около равносторонней гиперболы, то, взяв

за основу уравнение такой гиперболы ($xt = c$) и добавив параметры, чтобы сделать уравнение более гибким, пробуют представить эмпирический материал функцией

$$x = a + \frac{c}{t+b}.$$

Эта формула легко приводится к линейной относительно параметров:

$$bx - at - m + tx = 0,$$

где $m = ab + c$. После вычисления b, a, m легко вычислить и c.

Если точки можно считать расположенными вдоль некоторой кривой, имеющей максимум, то в первую очередь пробуют представить материал параболой второго порядка:

$$x = a + bt + ct^2.$$

Если представление будет признано недостаточно удовлетворительным, то можно попытаться повысить степень полинома. Сказанное относится одинаково как к графику, построенному по (t, x), так и по функциям $\varphi(t)$ и $\psi(x)$.

2) Если ищется связь между функцией и несколькими аргументами, то графический способ подыскания вида функциональной связи не может быть использован. Приходится прибегать к косвенным физическим соображениям, чтобы получить вид функции.

Если, например, по физическим соображениям можно считать, что x есть периодическая функция t с периодом P и зависит еще неизвестным способом от аргумента u, то можно попробовать функцию

$$x = (a + bu + cu^2) \sin \frac{2\pi t}{P}$$

или

$$x = (a + bu) \sin \frac{2\pi t}{P} + (c + du) \cos \frac{2\pi t}{P},$$

a, b, c, d — параметры, которые нужно найти по таблице значений функции и аргументов.

III. Определение значений параметров эмпирической формулы. Как указано в п. I, необходимо ввести соглашение о смысле понятий — хорошее приближение, наилучшее приближение и т. п.

В основе лежит таблица результатов измерений значений функции x при разных значениях аргумента t, также полученных измерениями. Результаты измерений всегда содержат случайные ошибки, которыми по большей части нельзя пренебрегать. Из этого следует, что нет смысла пользоваться условием, введенным в § 1, — так подбирать параметры приближающей функции (коэффициенты полинома в § 1), чтобы она точно представляла таблицу. Достаточно, чтобы на графике кривая функциональной зависимости проходила вблизи точек, изображаю-

щих наблюдения (в случае функции одного аргумента). Если исследуется функция нескольких аргументов, то совершенно достаточно, чтобы отклонения эмпирической функции от наблюдений не превышали предельных погрешностей функции (если они известны или могут быть оценены).

Можно еще сказать, что на графике каждая точка должна быть окружена небольшой областью, в которой могла бы оказаться наблюдаемая точка при несколько иной случайной комбинации причин, вызывающих случайные ошибки. Если такие области возможно построить, то достаточно, чтобы кривая прошла через все области. В таком виде задача не ставится.

Обычно вводятся некоторые соглашения о способе вычисления параметров.

В настоящее время чаще всего применяется способ наименьших квадратов. Если эмпирическая формула линейна относительно параметров (или может быть приведена к линейности простыми преобразованиями), то подстановка значений t и x, полученных из наблюдений, дает систему линейных условных уравнений для вычисления параметров.

Эта система решается по способу наименьших квадратов (см. § 3, п. III). Применение в задаче об эмпирических функциях принципа Лежандра в ряде задач не имеет вероятностного значения, а представляет просто соглашение о способе вычисления параметров. При вычислении параметров следует вычислить и их средние ошибки для того, чтобы можно было решить вопрос о числе знаков, которые можно считать надежными в параметрах. Если, например, для параметра a получили значение $3,487 \pm 0,023$, то ясно, что нет смысла сохранять в результате тысячные доли; следует принять $a = 3,49 \pm 0,02$. Это означает, что сотые доли не совсем надежны. Весьма важно, чтобы были вычислены все остающиеся погрешности; это даст возможность оценить качество приближения и выявить ненадежные наблюдения.

Порядок вычислений такой же, как в применении способа наименьших квадратов в теории ошибок. Если выбранная формула нелинейна относительно параметров, то необходимо привести систему условных уравнений к линейному виду способом, описанным в книге Б. М. Щиголева «Математическая обработка наблюдений».

IV. Проверка пригодности эмпирической формулы. После вычисления коэффициентов эмпирической формулы необходимо проверить, как формула представляет те наблюдения, из которых она выведена. Это значит, что нужно вычислить невязки всех условных уравнений, подставляя в них вычисленные значения коэффициентов.

Пусть строилась формула для функции $x = x(t)$ или функции нескольких аргументов и есть возможность установить предельные погрешности измерения (или вычисления) x.

Если большинство невязок (остатков) по модулю меньше предельных погрешностей, а остальные незначительно превышают их, то эмпирическую формулу можно считать вполне удовлетворительной.

Если модули почти всех невязок больше предельных погрешностей, остальные хотя и меньше, но мало отличаются, то эмпирическая формула явно неудовлетворительна.

На практике редко бывают такие крайние случаи; кроме того, не всегда можно указать предельные погрешности.

В большинстве задач качество приближения с помощью эмпирической формулы оценивается вероятностными способами. Если условные уравнения, определяющие параметры формулы, можно считать равноточными, то достаточной суммарной характеристикой можно считать среднюю квадратичную ошибку измерения с весом единица.

Если эта величина порядка возможных ошибок измерения значений функции, то приближение можно считать удовлетворительным.

Работа по построению хорошей эмпирической формулы иногда бывает длительной, так как в случае неудовлетворительного представления первой взятой формулой надо ее изменить или усложнить, чтобы попытаться получить лучший результат.

Если в результате такой работы удастся подобрать формулу, которая удовлетворительно представляет разный наблюдательный материал, то можно думать, что найдена *приближенная закономерность в исследуемом явлении.* Один из известных примеров: зависимость период — светимость у цефеид.

§ 5. Корреляция

I. Корреляционная связь между двумя величинами. Назовем *статистической совокупностью* собрание объектов, объединенных в группу по одним качественным или количественным признакам и отличающихся друг от друга по другим признакам. Цель изучения статистических совокупностей — вывод числовых характеристик для них, которые можно было бы считать в какой-то степени характеризующими совокупность.

В этом параграфе рассматриваются двумерные совокупности, т. е. такие, в которых указаны значения двух величин, характеризующих свойства каждого из объектов совокупности.

Примеры: а) из каталога элементов орбит малых планет выписаны только большие полуоси и эксцентриситеты; б) из каталога цефеид выписаны для каждой звезды период и светимость. В первом примере общее у всех объектов, то, что это — малые планеты; они отличаются одна от другой величинами средних расстояний и эксцентриситетов. Во втором примере общее — характерные для цефеид кривые блеска; отдельные звезды отличаются одна от другой разными количественными признаками, из которых отбирают только два: период и светимость.

Довольно часто в изучаемых двумерных совокупностях те величины, значения которых даны в совокупности, обнаруживают связь, отличную от функциональной, которую можно назвать *связью в среднем*. Часто употребляется название *корреляционная связь*; говорят иногда, что рассматриваемые величины находятся в корреляции.

Признаки корреляционной связи:

а) если выписать разные значения каждой из величин, то всякому значению одной величины соответствует неопределенное количество значений другой (одному — два значения, другому — четыре, и т. д.);

б) если вычислить средние значения одной величины, соответствующие разным значениям другой, то между этими числами может существовать связь, более или менее близкая к функциональной связи.

Полем корреляции называется график, построенный следующим образом: выбирается прямоугольная система координат (u, v), где u и v — обозначения рассматриваемых величин; по каждой паре u_k, v_k $(k = 1, 2, \ldots, n$ — число пар) значений, взятых из каталога, строится точка.

В обычных задачах поле корреляции представляет собрание точек, разбросанных более или менее беспорядочно. Одним крайним случаем можно считать расположение всех точек на некоторой кривой; это — случай вырождения корреляционной связи между величинами в точную функциональную связь. В действительности даже при наличии функциональной зависимости v только от u точного расположения точек поля на кривой не будет вследствие наличия случайных ошибок в результатах наблюдений.

Другой крайний случай — средние значения одной величины не зависят от соответствующих значений другой. В этом случае можно сказать, что никакой связи в среднем нет и точки поля корреляции разбросаны приблизительно равномерно.

Построим на поле корреляции точки с координатами $(u_k, \bar{v}_k)$, где $\bar{v}_k$ — среднее из разных v, которые наблюдались вместе с u_k. Если все такие точки соединить отрезками прямых, то получится ломаная, представляющая приближенно зависимость средних v от u. Эту ломаную можно условно назвать *эмпирической линией регрессии*.

Если можно подобрать функцию, представляющую удовлетворительно указанную связь, то ее называют *уравнением регрессии*, а соответствующую линию — *линией регрессии* v по u (говорят также: v на u).

Аналогично можно построить эмпирическую регрессию u по v, т. е. зависимость средних u от соответствующих v.

Так как обычно ограничиваются исследованием *линейной корреляции*, т. е. представляют эмпирическую регрессию линейной функцией, то нередко бывает, что нельзя исследовать

корреляцию непосредственно по наблюденным значениям величин, а придется попробовать подобрать функции заданных величин так, чтобы соответствующие эмпирические линии регрессии были близки к прямым. В подобных случаях говорят, что сначала нужно решить, что «коррелировать», точнее, какие функции величин нужно «коррелировать», чтобы связь была близка к линейной.

Задачи по теории корреляции:

1) Вывод уравнений регрессии заданного вида из материала наблюдений или для функций наблюдавшихся величин. (Мы ограничимся линейными уравнениями регрессии; их будет два.)

2) Вывод числового критерия для оценки степени уклонения корреляционной связи от линейной (ибо рассматриваются линейные уравнения регрессии).

II. Исследование корреляции при небольшом числе наблюдений.

1. Материал. Материалом является простой список наблюдений, который не подвергается никакой подготовке, кроме, быть может, некоторого смещения начала отсчета для одной или обеих величин. Это делается в том случае, когда значения u и v — многозначные числа, меняющиеся в сравнительно небольшой области. Если, например, наблюдения значений u дали числа 373, 385, 403, 421, 435, то естественно вместо них временно для упрощения вычислений ввести числа $x = u - u_0$, где u_0 выбирается произвольно — где-нибудь около средины области. В нашем иллюстративном примере можно принять $u_0 = 403$. Материалом, с которым будут производиться вычисления, будут числа:

$$x_k \,\|\, -30, \ -18, \ 0, \ +18, \ +32.$$

Количество материала, при котором работают непосредственно с результатами наблюдений или функциями результатов наблюдений, не может быть определено по каким-нибудь обоснованным правилам. Практика показывает, что при количестве наблюдений примерно до 50 нет смысла строить и обрабатывать таблицу, которая будет описана в п. III.

Если количество наблюдений не превышает 50, то рекомендуется применять приемы, описанные в этом пункте.

2. Числовые характеристики совокупности двух величин. Над каждой из двух величин производим такие же вычисления, какие в теории ошибок производились над результатами измерения одной определенной величины. Это значит, что вычисляются средние значения по формулам

$$\bar{u} = \frac{\sum_{k=1}^{n} u_k}{n}, \quad \bar{v} = \frac{\sum_{k=1}^{n} v_k}{n}$$

и средние квадратичные отклонения:

$$\sigma_u^2 = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(u_k - \bar{u})^2 = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}u_k^2 - \bar{u}^2,$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(v_k - \bar{v})^2 = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}v_k^2 - \bar{v}^2.$$

Разница с теорией ошибок в том, что в ней среднее значение было приближенным значением измеряемой определенной величины, а здесь это числовая характеристика случайной величины, приближенное значение математического ожидания. Аналогично σ_u и σ_v — не средние ошибки, а средние отклонения от среднего, т. е. тоже числовые характеристики распределения случайных величин u и v, рассматриваемых отдельно.

В формулах для σ_u и σ_v в знаменателе взято n, а не $n-1$, как в теории ошибок, так как в рассматриваемой задаче n не может быть очень малым и практически безразлично, взять n или $n-1$.

Кроме этого, вычисляется величина, зависящая от значений обеих величин по формуле

$$\mu_{11} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(u_k - \bar{u})(v_k - \bar{v})$$

или

$$\mu_{11} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}u_k v_k - \bar{u}\bar{v}.$$

После этого вычисляется *коэффициент корреляции* по формуле

$$r = \frac{\mu_{11}}{\sigma_u \sigma_v}.$$

Коэффициент корреляции можно считать мерой уклонения корреляционной связи от линейной функциональной связи. Он может иметь значения от -1 до $+1$. Значения -1 и $+1$ будут в случае точной линейной зависимости между величинами. Значение 0 означает отсутствие связи в том смысле, что среднее значение каждой величины не зависит от значений другой величины. Числа $\bar{u}$, $\bar{v}$, σ_u, σ_v и r представляют числовые характеристики совокупности двух величин u и v.

Примечание. Если вычисления велись с числами $x = u - u_0$ и $y = v - v_0$, то это нужно учесть только при вычислении средних:

$$\bar{u} = u_0 + \bar{x}, \quad \bar{v} = v_0 + \bar{y}.$$

На значения σ_u, σ_v и r перенос начала отсчета не влияет. Значит,

$$\sigma_x = \sigma_u, \quad \sigma_y = \sigma_v$$

и значение r получается одним и тем же по числам x, y или по числам u, v.

Коэффициент корреляции есть число отвлеченное, не зависящее ни от начала отсчета u и v, ни от единиц измерения.

3. Уравнения регрессии. Линейные уравнения регрессии имеют вид

$$v - \bar{v} = r\frac{\sigma_v}{\sigma_u}(u - \bar{u}), \quad u - \bar{u} = r\frac{\sigma_u}{\sigma_v}(v - \bar{v}),$$

где v и u, стоящие в левых частях, представляют средние значения v и u в зависимости от значений u и v соответственно. Поэтому уравнения регрессии можно писать и в другой форме:

$$\bar{v}_u - \bar{v} = r\frac{\sigma_v}{\sigma_u}(u - \bar{u}), \quad \bar{u}_v - \bar{u} = r\frac{\sigma_u}{\sigma_v}(v - \bar{v}),$$

где $\bar{v}_u$ — среднее значение v в зависимости от u, аналогичный смысл имеет $\bar{u}_v$. Уравнениями регрессии можно пользоваться как эмпирическими формулами для вычисления средних значений одной величины по значениям другой величины.

Средние ошибки уравнений регрессии вычисляются по формулам

$$s_v = \sigma_v\sqrt{1 - r^2}, \quad s_u = \sigma_u\sqrt{1 - r^2}.$$

Чем ближе $|r|$ к единице, тем меньше средние ошибки уравнений регрессии.

4. Пример. В книге Б. В. Кукаркина «Исследование строения и развития звездных систем на основе изучения переменных звезд» (Гостехиздат, 1949) приведены сведения о периодах P и абсолютных величинах M звезд типа Миры Кита. Материал уже отчасти обработан, как видно из таблицы значений, в которой шаг величины P почти постоянный.

Исследуем сначала корреляцию между P и M.

Имеем таблицу значений P и M:

№	P	x^2	x	xM	M	M^2
1	100	100	−10	+21,0	−2,1	4,41
2	150	64	− 8	+18,4	−2,3	5,29
3	175	49	− 7	+17,5	−2,5	6,25
4	200	36	− 6	+13,2	−2,2	4,84
5	225	25	− 5	+9,0	−1,8	3,24
6	250	16	− 4	+6,0	−1,5	2,25
7	275	9	− 3	+3,6	−1,2	1,44
8	300	4	− 2	+1,8	−0,9	0,81
9	325	1	− 1	+0,6	−0,6	0,36
10	350	0	0	0,0	−0,4	0,16
11	375	1	+ 1	−0,2	−0,2	0,04
12	400	4	+ 2	0,0	0,0	0,00
13	425	9	+ 3	+0,3	+0,1	0,01
14	450	16	+ 4	+0,8	+0,2	0,04
15	475	25	+ 5	+1,5	+0,3	0,09
16	500	36	+ 6	+2,4	+0,4	0,16
17	550	64	+ 8	+4,0	+0,5	0,25
18	600	100	+10	+6,0	+0,6	0,36
	Суммы	559	−7	105,9	−13,6	30,00

Для упрощения вычислений не только изменено начало отсчета величины P, но еще изменен масштаб. Введена величина x, связанная с P равенством

$$x = \frac{P - 350}{25}.$$

Значения M имеют мало знаков, поэтому M не заменяется.

Вычисления:

$$\bar{x} = -\frac{7}{18} = -0{,}39; \quad \overline{P} = 350 + 25\,(-0{,}39) = 340;$$

$$\overline{M} = -\frac{13{,}6}{18} = -0{,}76; \quad \sigma_M^2 = \frac{30}{18} - (-0{,}76)^2 = 1{,}09; \quad \sigma_M = 1{,}04;$$

$$\sigma_x^2 = \frac{559}{18} - (-0{,}39)^2 = 31{,}06 - 0{,}15 = 30{,}9;$$

$$\sigma_x = 5{,}56; \quad \sigma_P = 5{,}56 \cdot 25 = 139.$$

Значения μ_{11} и r вычислим исходя из значений x и M. Имеем

$$\mu_{11} = \frac{105{,}9}{18} - (-0{,}39) \cdot (-0{,}76) = 5{,}88 - 0{,}30 = 5{,}58;$$

$$\sigma_x \cdot \sigma_M = 5{,}56 \cdot 1{,}04 = 5{,}78; \quad r = \frac{5{,}58}{5{,}78} = 0{,}97.$$

Для величин P и M напишем уравнения регрессии. Регрессия M по P:

$$M + 0{,}76 = 0{,}97 \cdot \frac{1{,}04}{139}\,(P - 340) = 0{,}00726\,(P - 340) \text{ или } M = 0{,}00726P - 3{,}23.$$

Проверим это уравнение для некоторых P:

P	100	200	300	400	500	600
M_c	−2,50	−1,78	−1,05	−0,33	+0,40	+1,13
$M_0 - M_c$	+0,4	−0,2	+0,1	+0,3	0,0	−0,5

M_c означает M, вычисленное по уравнению регрессии; M_0 — заданные значения M.

Несмотря на близость к единице коэффициента корреляции, представление связи между M и P уравнением регрессии нельзя считать очень хорошим. Отклонения довольно велики и знаки разностей между «наблюденными» и вычисленными значениями имеют систематический характер.

III. Исследование корреляции при большом числе наблюдений.

1. Корреляционная таблица. Обозначим исследуемые величины буквами u и v. Находим в исследуемой совокупности наименьшее и наибольшее значения величины u; если это многозначные числа, то первое число немного уменьшаем, а второе несколько увеличиваем, так чтобы границы области были числами с малым количеством значащих цифр.

Вся область изменения u делится на равные интервалы, число которых подбирается в зависимости от количества наблюдений.

Чаще всего берут от 10 до 20 интервалов. Границы интервалов и значения u, соответствующие серединам интервалов, нужно брать так, чтобы в них было мало значащих цифр; особенно это существенно в серединах интервалов.

Совершенно такую же работу нужно выполнить с областью значений второй величины v. После этого построим сетку прямоугольных координат, проводя координатные линии через границы интервалов. Прямоугольная область возможных значений u и v разобьется на прямоугольные ячейки. Их число равно произведению числа интервалов области значений u на число интервалов области v. Если последние числа порядка десяти, то число ячеек будет порядка сотни. Каждой ячейке соответствуют некоторые интервалы u и v. Подсчитаем количество объектов, попадающих в каждую ячейку, т. е. имеющих u и v в границах, соответствующих ячейке. Запишем в таблицу результаты подсчета.

В результате получится таблица такого вида, который в примере занимает центральную часть вычислительной схемы, ограниченную снизу и справа жирными линиями.

В виде заголовков наверху и слева у середин ячеек ставятся значения u и v в серединах соответствующих интервалов. Справа таблица дополняется столбцом, содержащим суммы чисел в горизонтальных полосах, что дает распределение величины v. Внизу добавляется горизонтальная полоса, в которой даются суммы чисел, стоящих в столбцах таблицы; эта полоса содержит распределение одной величины u (при всех v). Сумма чисел в присоединенном столбце должна равняться сумме чисел в добавленной полосе, что используется для контроля подсчетов. Расширенная корреляционная таблица содержит и распределение совокупности величин в основной части и (на краях внизу и справа) распределения каждой из величин в отдельности. Хотя для вычислений нужны эмпирические вероятности, но их на практике не определяют, все вычисления производят над численностями, а деления на общее число случаев выполняют в конце. Существенно отметить, что вся обработка ведется при следующем упрощении: число объектов в ячейке принимается за число случаев, когда u имело среднее значение интервала по u (аналогично и для v).

Для записи в п. III, 3 рабочих формул будем пользоваться следующими обозначениями:

n — общее число наблюдений;

σ — число интервалов величины u, их номера от 1 до σ;

s — число » » v, » » от 1 до s;

n_{kl} — число объектов, попавших в k-й интервал по u и, вместе с тем, в l-й интервал по v;

u_k — значение u в середине k-го интервала;

v_l — » v » » l-го » ;

$\sum_{k=1}^{\sigma} n_{kl} = n_{0l}$ — численность в распределении одной величины u при $v = v_l$;

$\sum_{l=1}^{s} n_{kl} = n_{k0}$ — численность в распределении одной величины v при $u = u_k$.

2. Введение условных единиц измерения. Вычисления заметно упрощаются, если для каждой из величин ввести начало отсчета и масштаб так, чтобы получить в новых единицах числа с малым количеством значащих цифр. За новое начало отсчета величины u, которое мы назовем условным нулем, примем значение u в середине того интервала, в который попадет среднее значение u. По большей части это тот интервал, в котором численность наибольшая, если по обе стороны примерно одинаковое число случаев, т. е. нет заметной асимметрии в распределении одной величины u, которое находится в дополнительной нижней строке. При наличии заметной асимметрии условный нуль берется в середине соседнего интервала в той стороне, где численность больше. Неудачный выбор условного нуля не влияет на результаты, но несколько усложняет вычисления. После выбора места условного нуля шаг величины u, т. е. длина интервала величины u, принимается за единицу. С величиной v поступаем точно так же. Рассматривается дополнительный столбец справа, содержащий распределение величины v, отмечается середина того интервала, в котором число объектов наибольшее. Это значение и принимается за условный нуль, если нет заметной асимметрии в численностях по обе стороны от указанного интервала. Масштаб величины v тоже изменяется: величина шага принимается за единицу.

После введения условных нулей и масштабов величины u и v заменяются величинами x и y, которые связаны с заданными величинами равенствами

$$x = \frac{u - u_0}{g}, \quad y = \frac{v - v_0}{h},$$

где u_0 и v_0 — значения, соответствующие условным нулям, g и h — длины интервалов. Введение величин x и y удобно тем, что эти величины принимают отрицательные и положительные целые значения по обе стороны от условного нуля.

Пусть, например, распределение одной величины u имеет такой вид:

Значения u в серединах интервалов	4	12	20	28	36	44
Численности	3	13	26	10	5	1
Значения x	−2	−1	0	+1	+2	+3

В качестве условного нуля принимаем середину третьего интервала, где наибольшая численность 26, т. е. $u_0 = 20$. Значения x выписаны в третьей строке.

Переход от величин x и y обратно к u и v потребуется только для определения средних $\bar{u}$, $\bar{v}$ и σ_u, σ_v по формулам

$$\bar{u} = u_0 + g\bar{x}, \quad \bar{v} = v_0 + h\bar{y},$$
$$\sigma_u = g\sigma_x, \quad \sigma_v = h\sigma_y,$$

где $\bar{x}$ и $\bar{y}$ — средние значения u и v в условных единицах. Так как коэффициент корреляции — величина безразмерная, то его достаточно вычислить, пользуясь значениями x и y.

3. Рабочие формулы. а) Вычисление *средних* значений ведется по формулам

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{\sigma} n_{k0} x_k,$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^{s} n_{0l} y_l,$$

где x_k и y_l — целые отрицательные и положительные числа, как в приведенном выше иллюстративном примере. Поэтому вычисление средних выполняется легко и быстро. Столбец произведений чисел n_{0l} на y_l и строку произведений чисел n_{k0} на числа x_k надо выписать, так как обе линии будут нужны на следующем этапе вычислений.

б) Вычисление *средних отклонений*:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{\sigma} n_{k0} x_k^2 - \bar{x}^2},$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{l=1}^{s} n_{0l} y_l^2 - \bar{y}^2}.$$

в) Вычисление *коэффициента корреляции*:

$$\mu_{11} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{\sigma} \sum_{l=1}^{s} n_{kl} x_k y_l - \bar{x}\bar{y},$$

$$r = \frac{\mu_{11}}{\sigma_x \sigma_y}.$$

Вычисление двойной суммы для определения величины μ_{11} можно выполнить двумя способами.

Простейший (но не лучший) способ — в каждую ячейку основной таблицы вписывается произведение чисел n_{kl} на x_k и y_l, соответствующие ячейке; числа надо вписать не тем цветом чернил, каким вписаны числа n_{kl}. Все эти произведения складываются по всей таблице, и получается упомянутая двойная

сумма. Сложение лучше выполнить сначала по строчкам и выписать суммы в дополнительном столбце справа. Затем произведения складываются по столбцам основной корреляционной таблицы и записываются в дополнительной строке внизу. Сложение всех чисел в дополнительном столбце даст двойную сумму; тот же результат дает сложение чисел дополнительной строки.

Второй способ заключается в том, что в каждой горизонтальной полосе числа n_{kl} умножаются на числа x_k и складываются. Обе операции делаются в уме, и результаты записываются в столбце (после столбца, содержащего числа $n_{0l} \cdot y_l^2$); полученные числа $\sum_{k=1}^{\sigma} n_{kl} x_k$ для последовательных l умножаются на y_l, и произведения записываются в следующем столбце. Сложение всех чисел этого столбца и дает нужную двойную сумму.

Совершенно аналогично с заменой значков k на l и чисел x_k на y_l заполняются две строки внизу; в каждом столбце числа n_{kl} умножаются на y_l, и произведения складываются; получается строка, заполненная числами

$$\sum_{l=1}^{s} n_{kl} y_l.$$

Умножение этих чисел на x_k дает еще одну строку, сложение чисел которой дает двойную сумму второй раз, что обеспечивает контроль.

Второй способ удобен тем, что первая дополнительная строка позволяет легко вычислить эмпирическую регрессию средних y по x, а первый дополнительный столбец даст эмпирическую регрессию x по y.

г) *Эмпирическая регрессия в условных единицах.* Предпоследний столбец, полученный при вычислении двойной суммы вторым способом, дает:

$$\bar{x}_y = \frac{1}{n_{0l}} \sum_{k=1}^{\sigma} n_{kl} x_k,$$

где $\bar{x}_y$ есть среднее значение x при последовательных значениях y.

Полученный столбец чисел и дает эмпирическую регрессию x по y.

Предпоследняя строка, полученная при вычислениях двойной суммы по второму способу, дает эмпирическую регрессию y по x. Если числа предпоследней строки поделить на числа строки n_{k0} (распределение x), то получим:

$$\bar{y}_x = \frac{1}{n_{k0}} \sum_{l=1}^{s} n_{kl} y_l, \qquad k = 1,\ 2,\ \ldots$$

д) *Теоретические уравнения регрессии в условных единицах.* Уравнения имеют вид

$$\bar{y}_x - \bar{y} = r\frac{\sigma_y}{\sigma_x}(x - \bar{x}),$$

$$\bar{x}_y - \bar{x} = r\frac{\sigma_x}{\sigma_y}(y - \bar{y}).$$

Эти уравнения регрессии и нужно сравнивать с эмпирической регрессией, когда хотят выяснить более детально пригодность линейных уравнений регрессии. Для этого в первое уравнение вместо x подставляют последовательные значения x_k и вычисляют по уравнению значения $\bar{y}_{x,k}$; они сравниваются с числами $\bar{y}_x$ эмпирической регрессии.

Аналогично в правую часть второго линейного уравнения регрессии подставляют последовательные значения y_l и вычисляют $\bar{x}_{y,l}$; эти числа нужно сравнить с эмпирическими $\bar{x}_y$.

е) *Уравнения регрессии в основных единицах.* Линейные уравнения регрессии можно использовать как эмпирические формулы для исследования связи в среднем. Для этой цели удобно иметь их в тех единицах, в каких обычно измеряются исследуемые величины. Они имеют вид

$$\bar{v}_u - \bar{v} = r\frac{\sigma_v}{\sigma_u}(u - \bar{u}),$$

$$\bar{u}_v - \bar{u} = r\frac{\sigma_u}{\sigma_v}(v - \bar{v}).$$

4. П р и м е р и с х е м а в ы ч и с л е н и й. Исследуется корреляция между относительной влажностью по психрометру и гигрометру.

Вычисления вне схемы

Средние

$$\bar{x} = +\frac{74}{240} = +0{,}308,$$

$$\bar{y} = +\frac{54}{240} = +0{,}225,$$

$$\bar{u} = 65 + 0{,}308 \cdot 10 = 68{,}08,$$

$$\bar{v} = 65 + 0{,}225 \cdot 10 = 67{,}25.$$

Средние отклонения

$$\sigma_x^2 = \frac{1066}{240} - (0{,}308)^2 = 4{,}347,$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1062}{240} - (0{,}225)^2 = 4{,}374,$$

$$\sigma_x = 2{,}085, \quad \sigma_u = 20{,}85,$$

$$\sigma_y = 2{,}092, \quad \sigma_v = 20{,}92.$$

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	
(1)	v_l	u_k	25	35	45	55	65	75	85	95	n_{0l}	$y_l n_{0l}$	$y_l^2 n_{0l}$	$\sum_k x_k n_{0l}$	$y_l \sum_k x_k n_{kl}$	$\bar{x}_{y,l}$	$\bar{x}_y$	(1)
(2)	y	x	−4	−3	−2	−1	0	+1	+2	+3								(2)
(3)	25	−4	10	2							12	−48	192	−46	184	−3,83	−3,83	(3)
(4)	35	−3		14	2						16	−48	144	−46	138	−2,88	−2,85	(4)
(5)	45	−2		4	24	6					34	−68	136	−66	132	−1,94	−1,87	(5)
(6)	55	−1				24	2				26	−26	26	−24	24	−0,92	−0,89	(6)
(7)	65	0					23	7			30	0	0	+7	0	+0,23	+0,09	(7)
(8)	75	+1					1	31	6		38	+38	38	+43	43	+1,13	+1,07	(8)
(9)	85	+2						2	41	3	46	+92	184	+93	186	+2,02	+2,05	(9)
(10)	95	+3							1	37	38	+114	342	+113	339	+2,97	+3,03	(10)
(11)	n_{k0}		10	20	26	30	26	40	48	40	240 / 240	+54	1062		1046			(11)
(12)	$x_k n_0$		−40	−60	−52	−30	0	+40	+96	+120	+74	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	
(13)	$x_k^2 n_{k0}$		160	180	104	30	0	40	192	360	1066	(13)						
(14)	$\sum_l y_l n_{kl}$		−40	−58	−54	−36	−1	+35	+91	+117		(14)						
(15)	$x_k \sum_l y_l n_{kl}$		160	174	108	36	0	35	182	351	1046	(15)						
(16)	$\bar{y}_{x,k}$		−4,00	−2,90	−2,08	−1,20	−0,04	+0,88	+1,90	+2,92		(16)						
(17)	$\bar{y}_x$		−4,02	−3,04	−2 05	−1,06	−0,08	+0,91	+1,89	+2,88		(17)						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)							

Коэффициент корреляции

$$\sigma_x \sigma_y = 4{,}362, \quad \overline{xy} = 0{,}0693,$$

$$\mu_{11} = \frac{1046}{240} - 0{,}690 = 4{,}289,$$

$$r = \frac{4{,}289}{4{,}362} = 0{,}983.$$

Уравнения регрессии

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 1{,}003, \quad \frac{\sigma_x}{\sigma_y} = 0{,}997,$$

$$r\frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0{,}986, \quad r\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = 0{,}980,$$

$$\bar{y}_x - 0{,}225 = 0{,}986\,(x - 0{,}308), \quad \bar{x}_y - 0{,}308 = 0{,}980\,(y - 0{,}225),$$

$$\bar{y}_x = 0{,}986x - 0{,}079, \quad \bar{x}_y = 0{,}980y + 0{,}088.$$

Средние ошибки уравнений регрессии

$$1 - r^2 = 0{,}0337, \quad \sqrt{1 - r^2} = 0{,}184,$$

$$s_y = 2{,}092 \cdot 0{,}184 = 0{,}385, \quad s_x = 2{,}085 \cdot 0{,}184 = 0{,}384.$$

Описание схемы. Показания гигрометра обозначены u, психрометра — v. В первом столбце даны значения v в серединах интервалов, во втором столбце — значения той же величины в условных единицах, обозначенные через y. Следующие восемь столбцов (ограничены жирными линиями справа и внизу) представляют основную корреляционную таблицу.

В (11)-м столбце дано распределение величины v при всех u или распределение y при всех x. В (12)-м и (13)-м столбцах — числа, которые после суммирования (между двумя горизонтальными жирными линиями) дадут числа, нужные для вычисления среднего значения $\bar{y}$ и дисперсии величины.

Числа (14)-го столбца получаются по второму способу подсчета двойной суммы, описанному в предыдущем пункте. Например, числа —66 и +93 получаются так:

$$-66 = 4 \cdot (-3) + 24 \cdot (-2) + 6 \cdot (-1);$$

$$+93 = 2 \cdot 1 + 41 \cdot 2 + 3 \cdot 3.$$

Числа (15)-го столбца получаются умножением чисел (14)-го столбца на числа (2)-го столбца. Числа (16)-го столбца получаются делением чисел (14)-го столбца на числа (11)-го столбца и дают эмпирическую зависимость средних x от y. Числа (17)-го столбца вычисляются по уравнению регрессии x по y при табличных значениях y. Сравнение чисел (16)-го и (17)-го столбцов дает представление о качестве приближения с помощью линейных уравнений регрессии.

Строки схемы аналогичны столбцам, надо только заменять x на y и обратно.

Заключение о примере. Коэффициент корреляции достаточно близок к единице. Сравнение чисел (16)-го и (17)-го рядов (столбцов и строк) показывает вполне удовлетворительное приближение линейной функцией. Поэтому можно считать, что связь между величинами близка к линейной, и линейными уравнениями регрессии можно пользоваться для вычисления средних значений одной величины по значениям другой. Для этого только надо написать уравнения регрессии в основных единицах (в процентах), а не в условных.

ТАБЛИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫХ ФОРМУЛ

Таблица XXX

Формула Ньютона

Нормированный аргумент	Коэффициент при 1-й разности	Коэффициент при 2-й разности	Коэффициент при 3-й разности	Коэффициент при 4-й разности
0,00	0,00	0,00000	0,0000	0,0000
±0,05	±0,05	−0,02375	±0,0154	−0,0114
±0,10	±0,10	−0,04500	±0,0285	−0,0207
±0,15	±0,15	−0,06375	±0,0393	−0,0280
±0,20	±0,20	−0,08000	±0,0480	−0,0336
±0,25	±0,25	−0,09375	±0,0547	−0,0376
±0,30	±0,30	−0,10500	±0,0595	−0,0402
±0,35	±0,35	−0,11375	±0,0626	−0,0415
±0,40	±0,40	−0,12000	±0,0640	−0,0416
±0,45	±0,45	−0,12375	±0,0639	−0,0408
±0,50	±0,50	−0,12500	±0,0625	−0,0391

В столбцах с двойными знаками верхний знак — для интерполяции вперед, нижний — для интерполяции назад (аргумент отрицателен).

Таблица XXXI

Значения функции $\Phi'(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$

z	$\Phi'(z)$	z	$\Phi'(z)$	z	$\Phi'(z)$	z	$\Phi'(z)$
0,0	0,399	1,0	0,242	2,0	0,054	3,0	0,004
0,1	0,397	1,1	0,218	2,1	0,044	3,1	0,003
0,2	0,391	1,2	0,194	2,2	0,035	3,2	0,002
0,3	0,381	1,3	0,171	2,3	0,028	3,3	0,002
0,4	0,368	1,4	0,150	2,4	0,022	3,4	0,001
0,5	0,352	1,5	0,130	2,5	0,018	3,5	0,001
0,6	0,333	1,6	0,111	2,6	0,014	3,6	0,001
0,7	0,312	1,7	0,094	2,7	0,010	3,7	0,0004
0,8	0,290	1,8	0,079	2,8	0,008	3,8	0,0003
0,9	0,266	1,9	0,066	2,9	0,006	3,9	0,0002
1,0	0,242	2,0	0,054	3,0	0,004	4,0	0,0001
			0,054				

Таблица XXXII

Значения функции $\Phi(z)=\int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}\,dt$

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
0,0	0	1,0	0,341	2,0	0,477	3,0	0,4986
0,1	0,040	1,1	0,364	2,1	0,482	3,1	0,4990
0,2	0.079	1,2	0,385	2,2	0,486	3,2	0,4993
0,3	0,118	1,3	0,403	2,3	0,489	3,3	0,4995
0,4	0,155	1,4	0,419	2,4	0,492	3,4	0,4997
0,5	0,191	1,5	0,433	2,5	0,494	3,5	0,4998
0,6	0,226	1,6	0,445	2,6	0,4953	3,6	0,4998
0,7	0,258	1,7	0,455	2,7	0,4965	3,7	0,4999
0,8	0,288	1,8	0,464	2,8	0,4974	3,8	0,4999
0,9	0,316	1,9	0,471	2,9	0,4981	3,9	0,5000
1,0	0,341	2,0	0,477	3,0	0,4986	4,0	0,5000

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1

Астрономические символы и обозначения

☉	Солнце, а также Воскресенье	Var	переменная звезда
☾	Луна » Понедельник	☊	или ☊, восходящий узел орбиты
♂	Марс » Вторник	☋	или ☋ нисходящий узел орбиты
☿	Меркурий » Среда	☌	соединение (разность геоцентрических долгот 0°)
♃	Юпитер » Четверг	☍	противостояние (разность долгот 180°)
♀	Венера » Пятница	□	квадратура (разность долгот 90°)
♄	Сатурн » Суббота	●	новолуние
♁	или ⊕ Земля	☽	первая четверть
♅	или ♅ Уран	○	полнолуние
♆	или ♆ Нептун	☾	последняя четверть
PL	или ♇ Плутон		
✳	звезда		
☄	комета		
↙	метеор		

	Знаки Зодиака	Геоцентр. долготы		Знаки Зодиака	Геоцентр. долготы
♈	Aries, Овен, а также точка весеннего равноденствия, которая теперь находится в созвездии Рыб	0°—30°	♎	Libra, Весы, а также точка осеннего равноденствия, которая теперь находится в созвездии Девы	180—210°
♉	Taurus, Телец	30—60	♏	Scorpius, Скорпион	210—240
♊	Gemini, Близнецы	60—90	♐	Sagittarius, Стрелец	240—270
♋	Cancer, Рак	90—120	♑	Capricornus, Козерог	270—300
♌	Leo, Лев	120—150	♒	Aquarius, Водолей	300—330
♍	Virgo, Дева	150—180	♓	Pisces, Рыбы	330—360

N	Север *NE* северо-восток	β	эклиптическая широта
S	Юг *SE* юго-восток	φ	географическая широта
E	Восток *NW* северо-запад	*z*	зенитное расстояние
W	Запад *SW* юго-запад	μ	собственное движение
a	год	*l*	галактическая долгота
d	сутки	*b*	галактическая широта
h m s	час, минута, секунда времени	π	годичный параллакс
° ′ ″	градус, минута, секунда дуги	V_r	лучевая скорость
A	азимут	*h*	высота светила над горизонтом
α или *AR*	прямое восхождение	*t*	часовой угол светила
δ	склонение	*s*	звездное время
λ	эклиптическая долгота, а также географическая долгота		

Таблица 2а

Греческий алфавит

Α, α альфа	Η, η эта	Ν, ν ни	Τ, τ тау
Β, β бэта	Θ, ϑ, θ тета	Ξ, ξ кси	Υ, υ ипсилон
Γ, γ гамма	Ι, ι йота	Ο, ο омикрон	Φ, φ фи
Δ, δ дельта	Κ, ϰ каппа	Π, π пи	Χ, χ хи
Ε, ε эпсилон	Λ, λ ламбда	Ρ, ρ ро	Ψ, ψ пси
Ζ, ζ дзета	Μ, μ ми	Σ, σ, ς сигма	Ω, ω омега

Таблица 2б

Латинский алфавит

A, a а	H, h ха (аш)	O, o о	U, u у
B, b бэ	I, i и	P, p пэ	V, v вэ
C, c це	J, j йот (жи)	Q, q ку	W, w (дубль-вэ)
D, d дэ	K, k ка	R, r эр	X, x икс
E, e э	L, l эль	S, s эс	Y, y ипсилон (игрек)
F, f эф	M, m эм	T, t тэ	Z, z зета (зэт)
G, g гэ (же)	N, n эн		

(в скобках указаны часто употребляемые французские названия, а также буква w, которой нет в латинском алфавите).

Таблица 3

Астрономические постоянные

А. XII съездом МАС в 1964 г. утверждена *новая система астрономических постоянных*. Решено принять для а. е. округленное значение 149 600 000 *км* (вытекающее из современных радиолокационных измерений межпланетных расстояний), что соответствует параллаксу Солнца 8″,794 и постоянной аберрации 20″,496.

По данным анализа движения ИСЗ отношение массы Земли к массе Луны принимается равным 81,30. Длину радиуса земного экватора приняли равной (6378160±10) *м*. Сплюснутость земного эллипсоида (также из анализа движений ИСЗ) 1/298,25 (очень близко к сплюснутости эллипсоида Красовского). Таким образом, новая система основных и производных постоянных может быть суммирована следующим образом:

Основные постоянные

Эфемеридная секунда	$s = 1/31556925{,}97474$ тропического года эпохи 1900 г.
Астрономическая единица	$A = 149600 \cdot 10^6$ *м*
Экваториальный радиус Земли	$a_e = 6378160$ *м*
Гауссова гравитационная постоянная	$k = \sqrt{f} = 0{,}01720209895$
Геоцентрическая гравитационная постоянная, равная произведению $f \cdot \mathfrak{M}_{♁}$	$GE = 398603 \cdot 10^9$ *м³/сек²*
Отношение масс Земли и Луны	$\frac{1}{\mu} = 81{,}30.$
Скорость света	$c = 299792{,}5 \cdot 10^3$ *м/сек*
Общая прецессия в долготе за 100 тропических лет (для эпохи 1900 г.)	$p = 5025''{,}64$
Наклон эклиптики к экватору (1900 г.)	$\varepsilon = 23° 27' 08''{,}26$
Постоянная нутации (1900 г.)	$N = 9''{,}210$
Динамический коэффициент сплюснутости Земли	$I_2 = 0{,}0010827$

Производные постоянные

Параллакс Солнца	$\pi_{\odot}=8'',794$
Постоянная аберрации	$\varkappa=20'',496$
Отношение масс Солнца и Земли	$S/E=332958$
Отношение массы Солнца к массе системы Земля и Луна	$S/E\ (1+\mu)=328\ 912$
Световое время для а. е.	$A/c=499^s,012=8^m,317=0^h,1386=0^d,005775=$ $=\sim 500$ *сек*
Среднее расстояние Луны от Земли	$a_☾=384400\cdot 10^3$ *м*
Параллакс Луны (средний)	$3422'',61=57'\ 2'',61$
Постоянная лунного неравенства	$L=6'',440$
Постоянная параллактического неравенства Луны	$P_☾=124'',986$
Сплюснутость земного эллипсоида	$c=\frac{1}{298,25}$

Б. Другие астрономические величины либо «постоянные» меняются со временем («постоянные» фиксируют значение величины для определенной эпохи).

Общая годичная прецессия по прямому восхождению $m=46'',0851+0'',000279\,(t-1900)$ или $m=3^s,07234+0^s,0000186\,(t-1900)$

Общая годичная прецессия по склонению $n=20'',0468-0'',000085\,(t-1900)$

Средний наклон экватора к эклиптике $\varepsilon=23°\ 27'\ 8'',26-0'',4684\,(t-1900)$

Продолжительность юлианского года 365,25 ср. суток$=8766^h=52960^m=31557600^s$.

Продолжительность среднего календарного года (григорианский стиль) 365,2425 ср. солн. суток$=365^d5^h49^m12^s$.

Продолжительность тропического года $365,24219879-0,0000000614\,(t-1900)$ *) $=[365^d5^h48^m46^s=$ $=8765^h,813=525948^m,77]=31556926^s,34-0^s,0053\ (t=1900)$

Продолжительность звездного года $365,25636042+0,0000000011\,(t-1900)=365^d6^h9^m10^s$

Продолжительность аномалистического года $365,25964124+0,0000000304\,(t-1900)$

Продолжительность драконического года $346,620031+0,00000012\,(t-1900)$

Продолжительность лунного года в 12 синодических месяцев 354,36 ср. солн. суток

Продолжительность тропического месяца 27,321582 ср. суток$=27^d7^h43^m4^s$

Продолжительность аномалистического месяца 27,554550 ср. суток$=27^d13^h18^m33^s$

Продолжительность драконического месяца 27,212220 ср. суток$=27^d5^h5^m36^s$

Средняя продолжительность календарного месяца (1/12 ср. солн. года) $30^d10^h29^m4^s$

Средние солнечные сутки$=1,002737909$ звездных суток$=24^h3^m56^s,5554$ зв. времени

Звездные сутки$=0,997269566$ ср. солн. суток$=23^h56^m04^s,0905$ ср. солн. времени

Среднее суточное видимое движение Солнца $0°,9856076686=59',136460=3548'',18761$

Сутки$=24^h=1440^m=86400^s$

*) Уменьшается на $0^s,53$ в сто лет.

Таблица 4а

Данные о Земле

Экваториальный радиус $a=6378,160$ *км*

Полярный радиус $b=6356,777$ *км*

Средний радиус 6371,032 *км*

Радиус-вектор на уровне моря на широте φ $r=a\,(0,99832407+0,00167644\cos 2\varphi-$ $-0,00000352\cos 4\varphi+\ldots)$

Сплюснутость земного эллипсоида $c=\frac{a-b}{a}=\frac{1}{298,25}$

Эксцентриситет земного меридиана $e=\sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2}}=0,081820$

Поверхность Земли 510 069 000 *км*²
Поверхность суши=29,2% всей поверхности Земли *)
Водная поверхность=70,8% всей поверхности Земли
Объем Земли $1,083219\cdot10^{12}$ *км*³≈$1,1\cdot10^{27}$ *см*³
Масса Земли $5,973\cdot10^{27}$ *г* **)=1 : (332958±20) массы Солнца≈трех миллионных массы ☉
Средняя плотность Земли 5,574 *г/см*³
Средняя плотность (земной коры) 2,80 *г/см*³
Критическая скорость (скорость освобождения) у поверхности 11,2 *км·сек*$^{-1}$
Длина 1° географической долготы (111,321 cos φ − 0,094 cos 3φ) *км*
Длина 1° географической широты (111,143−0,562 cos 2φ) *км*
Разность астрономической φ и геоцентрической φ′ широт

$$\varphi-\varphi' = 695'',66 \sin 2\varphi - 1'',163 \sin 4\varphi + 0'',003 \sin 6\varphi$$

Угловая скорость вращения Земли 15″,041 *сек*$^{-1}$=0,000072921 *сек*$^{-1}$
Линейная скорость точки экватора 465,119 *м/сек*$^{-1}$
Линейная скорость точки земной поверхности на широте φ равна 465,119·cos φ *м·сек*$^{-1}$
Средняя скорость движения Земли по орбите 29,765 *км·сек*$^{-1}$≈100 000 *км·час*$^{-1}$
Наибольшая скорость (в перигелии) 30,27 *км·сек*$^{-1}$
Наименьшая скорость (в афелии) 29,27 *км·сек*$^{-1}$
Ускорение Земли к Солнцу 0,59 *см/сек*²
Ускорение силы тяжести на Земле (стандартное) g_0=980,665 *см·сек*$^{-2}$
То же на широте 45° (абсолютное) $g_{45°}$=980,616 *см·сек*$^{-2}$
Ночное излучение Земли (в ясную ночь) 0,1—0,2 *кал · см*$^{-2}$ · *мин*$^{-1}$

---

*) Около 0,1 суши покрыто вечными снегами и льдом.
**) Около 0,024% массы Земли составляет вода во всех ее формах; масса атмосферы Земли (5,158±0,001)·10^{21} *г* (АЦ № 593, 1970).

Таблица 4б

Данные о Солнце

Параллакс Солнца при среднем расстоянии Земли от Солнца $\pi_{☉}$=8″,7940976±0″,0000147 (по радарным измерениям). МАС в 1964 г. принял значение 8″,79
Параллакс Солнца меняется в пределах от 8″,94 до 8″,65
Среднее расстояние до Солнца=23455,04 экваториального радиуса Земли= =(149 599 300±2000) *км*=1 а. е.=107,6 $D_{☉}$=4,85·10^{-6} *пс*.
Диаметр Солнца $D_{☉}$=1 392 000 *км*=109,12$D_{♁}$≈14·10^{10} *см*
Поверхность Солнца в 11 930 раз больше поверхности Земли=6087·10^{22} *см*²=608,7·10^{10} *км*²
Объем Солнца $V_{☉}$=1 303 800 $V_{♁}$=1,412·10^{33} *см*³=1,4·10^{18} *км*³
Наибольший видимый угловой диаметр Солнца 32′ 35″,78 (Земля в перигелии)=1955″,78
Наименьший видимый угловой диаметр Солнца 31′ 31″,34 (Земля в афелии)=1891″,34
Видимый угловой диаметр на расстоянии 1 а. е. (средний угловой диаметр) 1919″,26= =31′ 59″,26 *)

---

*) Из наблюдений диаметр Солнца на среднем расстоянии Земли от Солнца получается 32′ 2″,36 вследствие явления *иррадиации.* Одна секунда дуги (1″) на поверхности Солнца соответствует 725,3 *км*, одна минута (1′) — 43 518 *км*.

Масса Солнца $\mathfrak{M}_{\odot}=(1\,989\pm0{,}002)\cdot10^{33}$ *г*$=332\,958$ $\mathfrak{M}_{\oplus}=328\,912$ $(\mathfrak{M}_{\oplus}+\mathfrak{M}_{☾})$

Средняя плотность $\rho_{\odot}=1{,}408$ *г·см*$^{-3}=0{,}255$ $\rho_{\oplus}$

Плотность в центре Солнца ~98 *г·см*$^{-3}$

Ускорение силы тяжести на поверхности Солнца $g_{\odot}=2{,}738\cdot10^4$ *см·сек*$^{-2}$, в 27,9 раза больше, чем на поверхности Земли

Критическая скорость (скорость освобождения) на поверхности Солнца 617,7 *км/сек*

Линейная скорость точки солнечного экватора 2,025 *км/сек*

Синодический период вращения точки экватора 27,275 суток (13°,199 в сутки)

Сидерический период вращения точки экватора 25,380 суток (14°,184 в сутки)

Наклон экватора Солнца к эклиптике 7° 15′ 00″

Долгота восходящего узла солнечного экватора 75° 01′ (1900,0)

Северный конец оси вращения Солнца пересекает небесную сферу в точке с координатами $\alpha=19^h4^m$, $\delta=+64°$ (между Полярной и Вегой)

Среднее значение *солнечной постоянной* *) на высоте 65 *км*

$$1{,}99\pm0{,}02\ \text{кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{мин}^{-1}=1{,}388\cdot10^{6}\ \text{эрг}\cdot\text{сек}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$$

Мощность солнечного излучения на высоте 65 *км* (практически на границе земной атмосферы) соответствует 1,388 *квт·м*$^{-2}=1{,}388\cdot10^{6}$ *эрг·см*$^{-2}$*сек*$^{-1}$

Светимость Солнца, принимаемая за единицу, или общая радиация, излучаемая Солнцем $(3{,}88\pm0{,}03)\cdot10^{33}$ *эрг·сек*$^{-1}=1{,}19\cdot10^{41}$ *эрг·год*$^{-1}$ **)

Излучение одного *см*^{2} поверхности Солнца $6{,}41\cdot10^{10}$ *эрг·сек*$^{-1}\approx50\,000$ метросвечей

Мощность общего излучения Солнца $51\cdot10^{22}$ *л. с.*$=374\cdot10^{21}$ *квт*

Сила света Солнца $302\cdot10^{25}$ междунар. свечей.

Средняя яркость поверхности солнечного диска (на границе земной атмосферы) 202 000 *стильбов* (*сб*)

Освещенность от Солнца (вне атмосферы) 137 000 *люкс* (*лк*)$=548\,000$ полных лун в зените

Видимая звездная величина Солнца в системе V: вне атмосферы $-26^m{,}78$, в зените $-26^m{,}58$

Видимая звездная величина Солнца в системе B: $-26^m{,}27\pm0^m{,}02$,

в системе U: $-26^m{,}23\pm0^m{,}04$

Видимая фотографическая звездная величина Солнца $-26^m{,}17$

Видимая болометрическая звездная величина Солнца $-26^m{,}85$

Показатель цвета Солнца $B-V=+0^m{,}63$

Спектральный класс Солнца G2V

Эффективная температура поверхности Солнца 5807° K±29° K

Модуль расстояния Солнца $m-M=-31^m{,}57$

Абсолютная фотовизуальная звездная величина $+4^m{,}96$

Абсолютная фотографическая звездная величина $+5^m{,}59$

Абсолютная болометрическая звездная величина $+4^m{,}72$

Скорость движения Солнца относительно окружающих его звезд до 6^m 19,5 *км/сек* (по направлению к созвездию Геркулеса)$=4{,}2$ а. е. в год $(1{,}21D_{\odot}$ в сутки$)=6\cdot10^8$ *км/год*

Апекс движения Солнца $\alpha=270°=18^h0^m$, $\delta=+30°$ (стандартный апекс)

Расстояние Солнца от центра Галактики $\sim10\,000$ *пс* $\sim30\,000$ световых лет

Расстояние Солнца от галактической плоскости 15 *пс* к северу

Скорость движения Солнца вокруг центра Галактики ~250 *км/сек*

Период обращения Солнца вокруг центра Галактики ~200 млн. лет

Средняя продолжительность полного цикла солнечной активности $(22{,}11\pm0{,}6)$ года

---

*) Колеблется не более чем на 1,5% в течение длительных периодов времени и на ±0,4% с короткими периодами. В 1968 г. на высоте 82 *км* 1,962 *кал/см²/мин*±0,1%.

**) В целом около 2 *эрг* на каждый грамм массы Солнца.

Таблица 4в

Данные о Луне

Средний суточный параллакс Луны 57′ 2″,61 = ~1° (параллакс меняется в среднем от 53′ 54″,6 до 61′ 31″,4)

Среднее расстояние Луны от Земли 384 400 *км* *) = 0,00257 а. е. = 60,2682 радиуса Земли (расстояние меняется от 356 410 до 406 740 *км*

Наибольший видимый угловой диаметр Луны 33′32″

Наименьший видимый угловой диаметр Луны 29′20″

Видимый угловой диаметр Луны на среднем расстоянии от Земли 31′5″,16 = ~1865″,2

Диаметр Луны 3474 *км* = 0,2726 экв. диаметра Земли ≈ $^3/_{11}$ земного

Объем Луны $2195,3 \cdot 10^7$ *км*^{3} = $2,2 \cdot 10^{25}$ *см*^{3} = 0,020266 объема Земли ≈ $^1/_{50}$ земного

Поверхность Луны $3,791 \cdot 10^7$ *км*^{2} = 0,0743 земной = 1/14 земной

Масса Луны 1/81,301 массы Земли = 0,012300 массы Земли = 1/27070500 массы Солнца = $= 7,35 \cdot 10^{25}$ *г* ~ 73 триллиона тонн

Средняя плотность Луны 3,347 $г \cdot см^{-3}$ = 0,607 средней плотности Земли

Ускорение силы тяжести на поверхности Луны 1,623 $м \cdot сек^{-2}$ = 0,165 земного ≈ 1/6 земного

Критическая скорость (скорость освобождения) 2,38 *км/сек*

Средний эксцентриситет лунной орбиты 0,05490 ≈ 1/18; линейный эксцентриситет 21 000 *км*

Наклон лунной орбиты к эклиптике 5°8′43″,4 (меняется с $P = 173^d$ от 4° 59′ до 5° 19′)

Средний наклон лунного экватора к орбите 6°40′,7 (наклон меняется от 6° 51′ до 6° 31′)

Наклон лунного экватора к эклиптике 1°32′47″ ± 24″

Наклон лунной орбиты к земному экватору меняется от 18° 18′ до 28° 36′

Либрация по долготе ±7°54′

Либрация по широте ±6°50′

Параллактическая либрация около 1°

Невидимая с Земли часть поверхности Луны составляет 0,410 всей поверхности Луны (в первый раз сфотографирована первой советской автоматической межпланетной станцией в октябре 1959 г.); 0,180 всей поверхности то видимы, то не видимы

Средняя видимая угловая скорость движения Луны 12°,15 в сутки, около 0°,53 в час ≈ поперечник лунного диска в час

Средняя скорость движения Луны по орбите 1,023 *км/сек* ≈ 3681 *км/час*

Ускорение Луны в ее движении вокруг Земли 0,272 *см/сек*^{2}

Сидерический месяц, равный периоду вращения Луны, $27^d 7^h 43^m 11^s,47 = 27^d,321661$ ср. суток ≈ $655^h 43^m$

Синодический месяц $29^d 12^h 44^m 2^s,78 = 29^d,5305882$ ср. суток ≈ $708^h 41^m$ (меняется от $29^d,25$ до $29^d,83$, т. е. ~ на 13^h, вследствие эллиптичности лунной орбиты)

Период вращения линии узлов 6798^d ≈ 18,61 тропич. лет

Период вращения линии апсид 3232^d ≈ 8,85 тропич. лет

Сферическое альбедо Луны 0,05 – 0,18

Видимая визуальная звездная величина в полнолунии $m_V = -12^m,71 \pm 0^m,06$ (полная Луна светит в 465 000 (±10%) раз слабее Солнца)

Показатель цвета Луны $B - V = +1^m,2$

Средняя яркость полной Луны 0,251 *сб*

Освещенность, создаваемая полной Луной в зените на Земле на поверхности, перпендикулярной к направлению падающих лучей, 0,25 люкса

«Лунная постоянная» — поток от Луны на Землю — 1/225000 м. калорий

Температура в подсолнечной точке + 130°C

Температура ночной стороны поверхности Луны – 150 ÷ 160° C

---

*) По радиолокационным данным 384 402 ± 2 *км*.

Элементы орбит пла

Планета	Большая полуось орбиты		Сидерический период обращения		Средняя скорость орбит. движения, *км/сек*	Средний синоди-ческий период в сутках	Средняя угловая скорость орбит. движения (в ср. сутки)
	в а. е.	в млн. *км*	в тропич. годах	в годах и средн. сутках			
Меркурий	0,38710	57,91	0,24085	87^{d},970	47,9	115,88	4°,0923
Венера	0,72333	108,21	0,61521	224,701	35,0	583,92	1,6021
Земля	1,00000	149,60	1,00004	1^{a}000,006	29,8	—	0,9856
Марс	1,52369	227,94	1,880089	1 321,730	24,1	779,94	0,5240
Юпитер	5,20280	778,34	11,86223	11 314,84	13,1	398,88	0,0831
Сатурн	9,53884	1427,0	29,45772	29 166,98	9,6	378,09	0,0335
Уран	19,19098	2871,0	84,01529	84 007,45	6,8	369,66	0,0117
Нептун	30,0707	4498,6	164,78829	164 280,30	5,4	367,48	0,0060
Плутон	39,52	59,12	247,6968	247 255,1	4,7	366,72	0,0040

*) Вращение в обратную сторону.
**) Для экваториальной зоны. В высоких широтах *P* увеличивается до $9^{h}56^{m}$ у Юпи
***) По колебаниям блеска.

Физические характеристики

Планета	Масса (без спутников)			Средний диаметр		Объем ♁=1
	$\frac{\mathfrak{M}_{\odot}}{\mathfrak{M}_{пл}}$	♁=1	*г*	*км*	♁=1	
Меркурий	6025000±15000	0,0553	$3,30\cdot10^{26}$	4 878	0,383	0,056
Венера	408520±100	0,8150	$4,87\cdot10^{27}$	12 100	0,950	0,86
Земля	332958±20	1,0000	$5,97\cdot10^{27}$	12 742	1,000	1,000
Марс	3098000±4000	0,1075	$6,42\cdot10^{26}$	6 776	0,532	0,15
Юпитер	1047,58±0,01	317,84	$1,90\cdot10^{30}$	138 800	10,89	1293
Сатурн	3498,5±0,05	95,17	$5,68\cdot10^{29}$	115 600	9,07	747
Уран	22900±200	14,54	$8,68\cdot10^{28}$	50 340	3,95	62
Нептун	19300±200	17,25	$1,03\cdot10^{29}$	49 080	3,85	57
Плутон	$(4\pm2)\cdot10^{6}$	0,06÷0,16	$(3,6\div9,6)\cdot10^{26}$	< 6 800	< 0,5	< 0,12

*) Вращение в обратную сторону.
**) Без учета центробежной силы. На Юпитере сила тяжести уменьшается на 9%, на

Таблица 5а

нет Солнечной системы

Период вращения вокруг оси	Эксцентриситет 1970,0 e	Наклон орбиты 1970,0 i	Долгота восх. узла 1970,0 Ω	Годичное изменение $\Delta\Omega$	Долгота перигелия 1970,0 π	Годичное изменение $\Delta\pi$	Средняя долгота в нач. эпоху 1970,0
$58^d,6$	0,20563	7°,004	47°,976	+0′,71	76°,989	+0′,93	47°,983
243,16 *)	0,00679	3,394	76,410	+0,54	131,149	+0,84	265,414
$23^h56^m04^s$	0,01672	—	—	—	102,424	+1,03	99,742
24 37 23	0,09338	1,850	49,236	+0,46	335,507	+1,10	12,675
9 50,5 **)	0,04809	1,306	100,145	+0,61	13,839	+0,97	203,420
10 14,5 **)	0,05385	2,491	113,395	+0,52	92,460	+1,18	43,006
10 42 *)	0,04596	0,773	73,847	+0,30	170,174	+0,96	184,290
15 48	0,00787	1,774	131,450	+0,66	44,362	+0,48	238,924
6 19,3 ***)	0,25344	17,140	109,909	+0,72	223,086	+0,84	195,258

тера и до 10^h38^m у Сатурна.

Таблица 5б

планет Солнечной системы

Средняя плотность		Сплюснутость (динамическая)	Наклон экватора к орбите	Ускорение силы тяжести на поверхности **) ♁ = 1	Критическая скорость на поверхности, *км/сек*	Температура в подсолнечной точке, °С		Альбедо
г/см³	♁ = 1					твердая поверхность	верхний слой облаков	
5,43	0,98	0,00	(0°)	0,38	4,3	+337°	—	0,10
5,25	0,95	1 : 30000	266°*)	0,90	10,4	+400 — +500	−39°	0,76
5,514	1,00	1 : 298,25	23° 27′	1,00	11,2	+14 (ср. годовая)		0,39
3,94	0,72	1 : 191,5	24 48	0,38	5,0	+30 (макс.) −70 (восход ⊙ на экваторе)		0,15
1,35	0,25	1 : 15,6	3 7	2,68	60,5		−143	0,45
0,70	0,13	1 : 10,4	26 45	1,16	36,3		−145	0,50
1,30	0,24	1 : 18,7	98,0	0,93	21,5		−170	0,66
1,66	0,30	1 : 47	29	1,16	23,7		(−210)	0,62
5 :	< 0,9 :	?	?	?	?		(−220)	0,16?

экваторе Сатурна — на 16%.

Планета	Спутник	Кто и когда открыл		m_V в среднюю оппозицию	Угловое расстояние в среднюю оппозицию	Среднее расстояние от планеты	
						в экв. радиусах планеты	в тыс. *км*
Земля	Луна	—		$-12^m,5$	—	60,27	384,4
Марс	I Фобос	А. Холл,	1877	+11,6	0′ 25″	2,76	9,4
	II Деймос			12,8	1 02	6,92	23,5
Юпитер	V Амальтея	Барнард,	1892	13,0	0 59	2,54	181,3
	I Ио	Галилей,	1610	4,8	2 18	5,90	421,6
	II Европа			5,2	3 40	9,40	670,9
	III Ганимед			4,5	5 51	15,00	1 070
	IV Каллисто			5,5	10 18	26,36	1 882
	VI (Атлас) [1]	Перрин,	1904	14,7	62 40	160,73	11 470
	X (Прометей)	Никольсон,	1938	19	63 36	164,1	11 710
	VII (Геракл)	Перрин,	1905	18	64 13	164,33	11 740
	XII *) (Гефест)	Никольсон,	1951	18	114 00	296,9	20 700
	XI *) (Дедал)		1938	19	123 24	315,9	22 350
	VIII *) (Прозерпина)	Меллот,	1908	16,2	128 35	328	23 300
	IX *) (Цербер)	Никольсон,	1914	17,7	128 58	332,2	23 700
Сатурн	I Мимас	В. Гершель,	1789	12,1	0 30	3,07	185,4
	II Энцелад			11,8	0 38	3,94	237,9
	III Тефия [2])	Ж. Кассини,	1684	10,3	0 48	4,88	294,8
	IV Диона		1684	10,4	1 01	6,24	377,7
	V Рея		1672	9,8	1 25	8,71	526,7
	VI Титан	Гюйгенс,	1655	8,4	3 17	20,22	1 221
	VII Гиперион	Д. Бонд,	1848	14,2	3 59	24,49	1 484
	VIII Япет	Ж. Кассини,	1671	10—12	9 35	58,91	3 563
	IX Феба *)	В. Пикеринг,	1898	14	34 41	214,4	12 961
	X Янус	О. Дольфюс,	1966	14,0	0 25		157,5
	Кольцо	Гюйгенс,	1659	—	—	1,50—2,25	90—138
Уран	V Миранда **)	Кейпер,	1948	17	0 10	5,11	130,4
	I Ариэль **)	Лассель,	1851	14	0 14	7,52	191,9
	II Умбриэль **)			15	0 20	10,48	267,3
	III Титания **)	В. Гершель,	1787	14	0 33	17,21	439,2
	IV Оберон **)			14	0 44	23,01	587,0
Нептун	I Тритон *)	Лассель,	1846	14	0 17	13,33	353,4
	II Нереида	Кейпер,	1949	19	4 24	209,8	5 570

*) Движение обратное.
**) Движение обратное, совпадающее с направлением вращения Урана.
[1]) Названия в скобках предложены Э. И. Нестеровичем (Бюлл. ВАГО 31 (38)).
[2]) Называется иногда Фетидой.

планет

Сидерический период обращения	Синодический период обращения	Эксцентриситет	Наклон к экватору планеты	Диаметр в *км*	Масса в единицах массы планеты
$27^d,32166$	$29^d12^h44^m03^s$	0,0549	18°,−28°,6	3 474	0,01230
0,31891	7 39 27	0,019	1,1	28×20	$3,2\cdot10^{-8}$
1,26244	1 6 21 16	0,0031	0°,9—2°,7	16×10	$5\cdot10^{-9}$
0,49818	11 57 28	0,0028	0°,4	160	$2\cdot10^{-9}$
0,76914	1 18 28 36	0,0000	0,0	3 470	$3,6\cdot10^{-5}$
3,55118	3 13 17 54	0,0003	0,0	3 100	$2,5\cdot10^{-5}$
7,15455	7 03 59 36	0,0015	0,0	5 000	$8,1\cdot10^{-5}$
16,68902	16 18 05 07	0,0075	0,0	4 700	$4,6\cdot10^{-5}$
250,621559	260 00	0,1580	27,6	120	$8\cdot10^{-10}$
260,0	276	0,13	28,8	40	$4\cdot10^{-11}$
259,646	276 10	0,2073	24,8	12	$1\cdot10^{-12}$
631,0	546	0,17	146,7	11	$7\cdot10^{-13}$
692,5	599	0,21	163,4	15	$2\cdot10^{-12}$
743,7	635	0,41	149,1	11	$7\cdot10^{-13}$
740,6	626	0,32	153,9	14	$1,5\cdot10^{-12}$
0,94242	22 37 12	0,0201	1,5	500	$6,6\cdot10^{-8}$
1,37022	1 08 53 22	0,0044	0,0	570	$1,5\cdot10^{-7}$
1,88780	1 21 18 55	0,0000	1,1	900	$1,1\cdot10^{-6}$
2,73692	2 17 42 10	0,0020	0,0	850	$1,9\cdot10^{-6}$
4,51750	4 12 27 56	0,0010	0,3	1 400	$4\cdot10^{-7}$
15,94545	15 23 15 25	0,0289	0,3	4 850	$2,4\cdot10^{-4}$
21,27666	21 07 39 06	0,104	0,6	350	$8\cdot10^{-8}$
79,33082	79 22 04 56	0,0284	14	1 330	$3\cdot10^{-6}$
550,45	536 16	0,1659	30	300	$5\cdot10^{-8}$
$17^h,98$		0,0	0,0	350	$3\cdot10^{-8}$
$4^h—14^h$	—	—	0,0	—	—
$1^d,414$	—	—		500	$1,5\cdot10^{-6}$
2,52038	2 12 29 40	0,007	0	1 330	$28\cdot10^{-6}$
4,14418	4 03 28 35	0,008	0	880	$8\cdot10^{-6}$
8,70588	8 17 00 00	0,0023	0	1 600	$5\cdot10^{-6}$
13,46326	13 11 15 36	0,0010	0	1 460	$38\cdot10^{-6}$
5,87683	5 21 03 27	0,0000	20 *)	4 000	$1,3\cdot10^{-3}$
359,9	—	0,75	5,0	300	$3\cdot10^{-7}$

Периодические кометы, возвращение

(исключены те, которые не обнаружены во время последних пяти возвра

№№ п/п	Название	Год откры-тия	N	Момент последнего прохождения перигелия	P, период	e, эксцент-риситет	q, пери-гелийн. расст.	$a=q/(1-e)$, большая полуось
1	Энке — Баклунда	1786	49	1971 янв. 9,92	3,302	0,847	0,339	2,22
2	Григга — Шьелле-рупа	1902	10	1967 янв. 16,46	5,121	0,815	1,003	5,43
3	Хонда — Мркоса — Пайдушаковой	1948	4	1969 сент. 22,98	5,218	0,814	0,559	3,01
4	Темпеля 2	1873	15	1972 нояб. 15,04	5,260	0,548	1,364	3,01
5	Тутля — Джакоби-ни — Кресака	1858	4	1962 апр. 23,91	5,49	0,639	1,123	3,11
6	Понса — Виннеке	1819	17	1970 июль 21,03	6,34	0,636	1,247	3,42
7	Дю Туа — Неуйми-на — Дельпорта	1941	2	1970 окт. 8,16	6,306	0,509	1,677	3,42
8	де Вико — Э. Свиф-та	1678	4	1965 авг. 23,27	6,309	0,524	1,624	3,42
9	Копфа	1906	10	1970 окт. 2,41	6,42	0,546	1,567	3,44
10	Джакобини — Цин-нера	1900	10	1972 авг. 31,29	6,516	0,715	0,994	3,49
11	Форбса	1929	5	1967 дек. 22,52	6,412	0,553	1,541	3,45
12	Швассмана — Вах-мана 2	1929	7	1968 март 14,32	6,516	0,384	2,147	3,49
13	Вольфа 2 — Херринг-тона 1	1924	5	1971 сент. 1,18	6,55	0,537	1,622	3,50
14	Виртанена	1947	4	1967 дек. 15,72	6,654	0,544	1,612	3,54
15	д'Арре	1851	12	1970 май 18,43	6,23	0,656	1,167	3,38
16	Цзыцзиньшань 2	1965	2	1971 нояб. 28,92	6,800	0,505	1,775	3,59
17	Брукс 2	1889	10	1960 июнь 17,31	6,720	0,505	1,763	3,56
18	Перрайна — Мркоса	1896	5	1968 нояб. 1,54	6,722	0,643	1,272	3,56
19	Рейнмут 2	1947	4	1967 авг. 18,24	6,735	0,455	1,942	3,57
20	Цзыцзиньшань 1	1965	2	1971 сент. 17,74	6,637	0,577	1,493	3,532
21	Херрингтона 2	1953	2	1960 июнь 29,08	6,806	0,559	1,583	3,59
22	Аренда — Риго	1950	4	1971 апр. 6,02	6,838	0,600	1,444	3,62
23	Джонсона	1949	4	1970 март 30,53	6,778	0,386	2,200	3,58
24	Финлея	1886	8	1967 июль 28,16	6,902	0,702	1,080	3,63
25	Борелли	1904	8	1967 июнь 17,72	7,00	0,604	1,45	3,66
26	Даниэля	1909	4	1964 апр. 21,72	7,094	0,550	1,661	3,70
27	Херрингтона — Эй-белла	1955	3	1969 май 10,82	7,19	0,52	1,773	3,70
28	П. Ф. Шайн — Шалдаха	1949	2	1971 окт. 1,9	7,28	0,405	2,234	3,76
29	Холмса	1892	5	1972 янв. 31,22	7,05	0,413	2,157	3,68
30	Уиппла	1933	6	1970 окт. 09,41	7,47	0,351	2,480	3,80
31	Файе	1843	16	1969 окт. 07,58	7,58	0,575	1,616	3,80

Таблица 7

которых к Солнцу наблюдалось

щений к Солнцу; элементы ω, ☊ и *i* приведены к равноденствию 1950,0

ω, долгота перигелия	☊, долгота узла	*i*, наклон	*E*, эпоха элементов	Вычислитель, источник
185°,94	334°,22	11°,97	1971,0	Н. А. Бохан, КЦ 103.
359,17	212,69	21,05	1967	Ситарский, IC 2361, Ли и Милборн BAA Hdb, 1972.
184,16	223,11	13,17	1969	Марсден, QJRAS 12, № 3, 1971.
190,87	119,27	12,48	1972	Марсден, BAA Hdb, 1972.
37,97	165,59	13,77	1962	Мобан, AN 178, 350.
172,25	92,78	22,32	1970	Марсден, Акснес, BAA Hdb, 1970, 68.
115,69	187,89	2,86	1970	Марсден, IC № 2222, 1970.
325,37	24,49	3,61	1950	Марсден Suppl, BAA Catalogue, 1965.
162,76	120,38	4,72	1970	Ситарский, Acta Astr. 18, 155, 1968.
171,91	195,13	31,71	1966	Ю. В. Евдокимов, КЦ 129, 1972.
259,81	25,29	4,62	1967	Марсден, Акснес, IC № 2063.
357,67	125,99	3,73	1968	Марсден, Акснес, IC № 2015.
187,01	254,20	18,43	1971	Ситарский, IC № 2257.
343,61	86,40	13,40	1967	Марсден, BAA Hdb, 1968; IC № 2041.
178,84	141,41	16,68	1970	Марсден, IC № 2191.
203,15	287,63	6,72	1971	(Нанкинская обс., КНР), КЦ № 131, 132; IC № 2381; КЦ № 127.
197,10	176,89	5,57	1967	А. Д. Дубяго, BAA Hdb, 1959.
166,06	240,16	17,76	1968	Марсден, AJ 75, 75, 1970.
45,63	296,09	6,98	1967	Рабе, IC № 2003.
22,73	96,19	10,52	1971	(Нанкинская обс., КНР), эфем. Ситарского, IC № 2346.
232,76	119,21	8,69	1960	Динвудй, Марсден, IC № 1713.
328,94	121,56	17,83	1971	Марсден, IC № 2248.
206,05	117,82	13,89	1970	Е. А. Воробьев, КЦ 78, 1969; IC № 2236.
321,69	42,00	3,64	1967	Марсден, Акснес, IC № 2028.
351,03	76,14	31,12	1967	Иёманс, Симпозиум МАС № 45, 1971.
10,97	68,52	20,14	1950	Портер, Mem. BAA 39, 3, 1961.
338,08	145,89	16,84	1969	Марсден, IC № 2102.
215,29	167,39	6,15	1969	Марсден, QJRAS 12, № 3, 1971.
23,46	327,47	19,22	1972	Марсден, BAA Hdb, 1971.
189,82	188,39	10,24	1970	Марсден, IC № 2157.
203,67	199,05	9,08	1969	Марсден, QJRAS 12, № 3, 1971.

№№ п/п	Название	Год откры-тия	N	Момент последнего прохождения перигелия	P, период	e, эксцен-триситет	q, пери-гелийн. расст.	$a=q/(1-e)$, большая полуось
32	Ашбрука — Джексона	1948	4	1971 март 13,64	7,425	0,400	2,285	3,81
33	Рейнмута 1	1928	5	1965 авг. 08,00	7,63	0,485	1,995	3,88
34	Аренда	1951	3	1967 июнь 13,66	7,76	0,535	1,822	3,90
35	Отерма 3	1943	3	1958 июнь 10,50	7,88	0,143	3,39	3,96
36	Шомасса	1911	6	1960 апр. 13,06	8,179	0,705	1,196	4,04
37	Джексона — Неуймина	1936	2	1970 авг. 06,43	8,394	0,654	1,428	4,11
38	Вольфа 1 — Каменского	1884	11	1967 авг. 30,21	8,429	0,395	2,506	4,15
39	Комас-Сола	1926	6	1969 окт. 29,14	8,549	0,577	1,769	4,17
40	Кирнса — Кви	1963	2	1972 нояб. 29,00	9,01	0,485	2,229	4,33
41	Неуймина 3	1929	2	1951 май 26,90	10,950	0,588	2,032	4,95
42	Гейла	1927	2	1938 июнь 18,47	10,992	0,761	1,183	4,95
43	Вайсала I	1939	4	1971 сент. 12,30	11,3	0,622	1,866	4,92
44	Слотера — Бернхема	1959	2	1970 апр. 13,17	11,616	0,504	2,543	5,13
45	Ван-Бисбрука	1954	2	1966 июль 17,26	12,407	0,550	2,409	5,33
46	Тутля	1790	9	1967 март 31,3	13,76	0,822	1,023	5,75
47	Швассмана — Вахмана 1	1925	3	1957 май 12,9	16,10	0,132	5,538	6,38
48	Неуймина 1	1913	4	1966 дек. 9,40	17,93	0,775	1,543	6,87
49	Кроммелина	1818	6	1956 окт. 25,2	27,87	0,919	0,743	9,18
50	Темпеля — Тутля	1866	3	1966 янв. 11,63	33,3	0,906	0,976	10,40
51	Стефана — Отерма	1867	2	1942 дек. 19,07	38,8	0,861	1,595	11,47
52	Вестфаля	1852	2	1913 нояб. 26,77	61,730	0,920	1,254	15,67
53	Брорзена 2 — Меткофа	1847	2	1919 окт. 17,38	69,060	0,971	0,485	16,72
54	Ольберса	1815	3	1956 июнь 21,2	69,569	0,931	1,178	17,05
55	Понса — Брукса	1812	3	1954 май 22,48	70,86	0,955	0,774	17,20
56	Галлея	— 466	30	1910 апр. 20,18	76,029	0,967	0,587	17,8
57	де Вико — Бонда — Шьеллерупа	1846	2	1927 дек. 18,18	(81,8)	0,96	0,176	43,8
58	К. Гершель — Риголле	1788	2	1939 авг. 09,46	156,04	0,974	0,748	28,8
59	Григга — Меллиша	1742	2	1907 март 27,69	164,32	0,97	0,923	30,8

Примечание. Сокр. обозн. изданий: AN — Astron. Nachrichten — журнал немецкого Астр.
BAA Hdb — ежегодник Британской астр. ассоциации; BAAJ — журнал Брит. Астр. асс.; IC —
астр. о-ва; HAC — Harvard Announcement Card — Извещения (карточки) Гарвардской обсерва
the Royal Astron. Society — квартальный журнал Королевского (английского) астрономического

ω, долгота перигелия	☊, долгота узла	*i*, наклон	*E*, эпоха элементов	Вычислитель, источник
348°,84	2°,15	12°,53	1971	М. А. Мерзлякова, Н. А. Беляев, КЦ 91.
9,45	121,11	8,29	1973	Ситарский, IC № 2419.
44,69	357,53	21,66	1967	Марсден, AJ **75**, 75, 1970.
354,84	155,13	3,99	1969	Отерма, Turku Inf. 17.
51,95	86,24	12,02	1960	Марсден, QJRAS **10**, № 3, 1969.
196,25	163,25	14,04	1970	Марсден, IC № 2277.
161,25	203,80	27,31	1967	Эгертон, BAA Hdb, 1967.
40,07	62,75	13,45	1969	Акснес, Марсден, BAA Hdb, 1969.
131,25	315,41	8,98	1972	Марсден, BAA Hdb, 1972.
144,81	156,20	3,76	1971	Эгертон, Джулиан, IC № 1799; BAA Hdb, 1972.
209,12	67,25	11,76	1971	Динвуди, BAA Hdb, 1960, 59.
49,70	134,74	11,48	1971	Милборн, Ли, BAA Hdb, 1971, 71.
44,26	346,10	8,16	1970	Ситарский, QJRAS **11**, № 3, 1970.
134,23	148,84	6,60	1966	Марсден, IC № 1898.
206,92	269,79	54,39	1971	В. К. Абалакин, Н. А. Беляев, КЦ № 38, IC № 1989.
356,2	322,0	9,51	1971	Хергет, Каталог Портера.
346,81	347,18	15,03	1966	Раудсаар, Марсден, QJRAS **9**, № 3, 1968.
196,0	250,37	28,87	1950	Кэнди, Портер, BAA Hdb, 1956.
170,94	232,58	162,70	1966	Е. Д. Кондратьева, QJRAS **12**, № 3, 1971.
358,27	78,60	17,90	1942	М. Я. Шмакова, Симпозиум МАС № 45, 1971.
57,06	347,31	40,87	1913	М. А. Вильев, AN **199**, 11, 1914 (1913).
129,51	311,18	19,20	1925	Дукерт, AN **215**, 201, 1922 (1925).
64,64	85,42	44,61	1950	Расмуссен, IC № 1558.
199,0	255,03	74,10	1950	Музен, Хергет, IC № 1429, 1953.
111,72	57,84	162,21	1910	Сигрейв, AJ **28**, 71, 1913.
47,19	77,55	85,11	1927	Кроммелин, MN **88**, 596, 1927.
29,30	355,28	64,20	1939	Максвелл, Кастер, AJ **49**, 59, 1940.
328,42	189,83	109,84	1907	Вайсс, Denk. Wien Akad. **84**, 12.

о-ва; AJ — Astron. Journal — американс. Астр. журнал; АЦ — Астр. Циркуляр (АН СССР); Circular of the Intern. Astr. Un. — Циркуляр МАС; MN — Monthly Notices — журнал Англ. тории (США); Obs — Observatory — Журнал Англ. астр. о-ва; QJRAS — Quaterly Journal of о-ва; КЦ — Кометный циркуляр, Киев, Астр. обсерватория.

МЕТЕОРНЫЕ РАДИАНТЫ

Метеорное вещество в Солнечной системе весьма разнородно: около половины метеорных частиц более крупного размера (дающих яркие метеоры в земной атмосфере) организованы в четкие системы, носящие название *метеорных роев*. Метеорные частицы такого роя движутся по общей орбите и при встрече с Землей образуют наблюдаемый нами *метеорный поток*. Под влиянием притяжения Солнца и планет и других факторов параллельность траекторий метеорных частиц роя нарушается и у наблюдаемого с Земли потока площадь радианта становится все большего и большего размера, достигая сотен и даже тысячи квадратных градусов. Элементы орбит таких метеорных частиц начинают отличаться от элементов орбиты первоначального роя. Так возникает *метеорная ассоциация*. В дальнейшем отдельные частицы продолжают еще больше расходиться, теряют общие свойства и мало-помалу переходят в так называемую *спорадику* — комплекс беспорядочно движущихся метеорных частиц. Среди упомянутых более крупных частиц оставшаяся половина принадлежит к спорадике.

Как известно, основная часть метеорных роев порождается кометами при их распаде. Поскольку комет много (и ежегодно происходит открытие новых), а известны кометы свыше 2000 лет, то можно думать, что метеорные рои продолжают возникать и распадаться непрерывно и в наше время. Кроме того, метеорный рой может наблюдаться с Земли только тогда, когда его орбита пересекает орбиту Земли, в то время как кометы наблюдаются «всегда и везде». Следовательно, метеорных роев в Солнечной системе должно быть много больше того числа, которое уже известно. Со времен Ф. А. Бредихина известно, что одна комета может порождать несколько метеорных роев.

В настоящее время для исследования метеоров применяется радиолокация, которой не мешают ни облачность, ни дневной свет. Радиолокации доступны для изучения слабые метеоры, подчас до 12-й звездной радиовеличины. Известно, что чем слабее метеор, тем таких метеоров больше. Оказалось, что среди радиометеоров процент спорадических выше, чем среди более ярких, изучаемых фотографически и визуально. Более старые метеорные потоки вообще почти или вовсе не содержат телескопических, слабых метеоров. Радиолокация дает возможность находить радиоорбиты как уже известных метеорных роев, так и более слабых, а также метеорных ассоциаций.

Основной точный материал по изучению метеоров дает фотографический метод. Измерение фотографий, произведенных одновременно из двух пунктов (т. е. базисных), производится строгими астрометрическими методами. Определение скоростей ведется с точностью до нескольких десятых долей процента с помощью вращающегося обтюратора. Поэтому фоторадианты и вычисляемые фотоорбиты оказываются достаточно надежными. Особенно ценные результаты дало за последние годы применение сверхсветосильных камер «супер-Шмидт» (F : 0,66, диаметр объектива 308 *мм*, фокусное расстояние 200 *мм*, резкое поле зрения 55° диаметром). Мак-Кроски с сотрудниками на Астрофизической обсерватории института Джона Смитсона (директором которого является известный исследователь метеоров Фред Уиппл) опубликовал около 2500 орбит по наблюдениям на этих камерах. Всего в СССР, США и других странах к настоящему времени опубликовано около 3700 фотографических орбит метеорных тел. А. К. Терентьева (Киевский университет) проанализировала весь этот материал и выявила 359 малых метеорных потоков, сравнив их с визуальными радиантами XIX и XX вв. На основании опубликованных ею данных нами была составлена табл. 8б 154-х главнейших малых потоков, наблюдаемых ныне.

Таблица 8а содержит основные данные по визуальным наблюдениям как «классических» больших метеорных потоков, так и наиболее известных малых. Она составлена на основе наблюдений, произведенных преимущественно любителями астрономии, бескорыстно преданными науке. Почти все такие наблюдения в XIX в. (около 120 000) были обработаны В. Ф. Деннингом, клерком по профессии. Он составил «Общий каталог 4367 метеорных радиантов» и издал его в 1899 г. Английсоке астрономическое общество присудило ему за этот

гигантский труд золотую медаль. В этом каталоге впервые было установлено существование ряда так называемых малых потоков.

В XX в. в исследовании метеорных радиантов приняли участие как любители, так и ученые других стран. С 1904 г. в Томске начал наблюдения Квадрантид и других потоков Ефимов. Несколькими годами позже Г. А. Шайн, впоследствии академик, начал близ Одессы визуальные исследования Дельта-Акварид и других потоков, опубликованные в трудах Пермского университета в 1918/1919 гг. проф. К. Д. Покровским вместе с фундаментальным каталогом теоретически вычисленных кометных радиантов. Исследование радиантов Персеид производил еще Ф. А. Бредихин в 1890—1894 гг., частично в Пулковской обсерватории, частично в районе Кинешмы на Волге. Этим он продолжил первые в России наблюдения метеоров, организованные в 1854 г. директором Московской обсерватории Б. Я. Швейцером, привлекшим для этого студентов Межевого института. После 1923 г. определение радиантов в СССР началось одновременно в ряде пунктов (Москва, Миргород, Витебск, Рыбинск, Одесса, Николаев, Ташкент и др.), найденные радианты публиковались в Москве и Ленинграде (Московским обществом любителей астрономии и Русским обществом любителей мироведения, ныне это соответственно МО ВАГО и ЛО ВАГО).

За рубежом активно трудились Мак-Интош в Новой Зеландии, опубликовавший в 1934 г. сводный каталог радиантов южного неба; Оливье, основавший Американское метеорное общество и получивший свыше 3000 радиантов по наблюдениям членов этого общества; Козиро Комаки, глава метеорной секции Восточного астрономического общества в Японии, выпустивший (до своей смерти в 1969 г.) 76 номеров «Метеорного бюллетеня», содержащего много новых радиантов. В Англии традиции Деннинга продолжали Прэнтис и Портер, позже вошедший в коллектив составителей английского «Морского Альманаха». В Германии с 1911 по 1948 г. по метеорам работал Гоффмейстер, совершивший две экспедиции в Южную Африку с целью изучения южных радиантов; в 1948 г. он выпустил книгу о метеорных потоках, где опубликовано свыше 5 тыс. радиантов. Почти триста радиантов по результатам систематических двухлетних наблюдений (1931—1933 гг.) в Аризоне, организованных Гарвардской обсерваторией, опубликовал Эпик. Много радиантов получено в Чехословакии и др. странах. Имеются каталоги болидов, например, Нильсена (1968).

Начиная с 30-х годов текущего столетия в СССР, а вскоре затем и за рубежом, для изучения метеоров стала широко применяться метеорная фотография, в особенности для нахождения радиантов. Однако это совершенно не исключает необходимости продолжать любительские наблюдения: фотографически определены радианты и орбиты, как мы видели, только 359 метеорных потоков, в то время как визуально их известно значительно больше. Далее, фотографическими наблюдениями почти невозможно найти граничные даты эпохи видимости потока, поскольку фотография метеора — дело случайное, тогда как систематическими визуальными наблюдениями эта задача решается просто. Кроме того, имеются потоки преимущественно слабых метеоров, которые не содержат ярких метеоров и потому недоступных фотографии. Они продолжают оставаться только визуально наблюдаемыми. Правда, радиолокация может их обнаружить, но трудно предполагать у рядового любителя наличие дорогостоящей радиолокационной установки. Работа с фотокамерами также требует известных затрат, а обработка полученных фотографий нуждается в специальной астрономической квалификации и, кроме того, весьма трудоемка.

В зависимости от того, как расположена орбита роя, последний эволюционирует с разной скоростью. Например, Андромедиды и рой кометы Понса — Виннеке возникли, дали замечательные метеорные дожди и иссякли на глазах у одного поколения астрономов, тогда как, например, Лириды, орбита которых проходит далеко от возмущающих планет, активны уже более 2500 лет и сохранятся по меньшей мере еще столько же времени. Но поскольку большинство метеорных роев — короткопериодические, средний «период полураспада» их составляет меньше 200 лет. Это значит, что каждый из метеорных роев должен быть под непрерывным наблюдением, поскольку граничные даты

эпохи видимости, дата максимальной активности, значение этой активности (т. е. часовые числа n_h) иногда изменяются в очень широких пределах. Поэтому ныне известные малые метеорные потоки могут перестать быть видимыми, зато на смену им появляются новые потоки, дотоле не известные. Примером сказанного могут служить Фенициды и Урса-Минориды в табл. 8а. Иногда слабый поток делается необыкновенно активным, как, например, α-Лириды ($R: 279° + 38°$), внезапно увеличивший часовое число в десятки раз, что отмечено группой астрономов-любителей в Симферополе (В. В. Мартыненко) 12—16 июля 1958 г.

В большинстве случаев эпоха активности потока длится несколько суток, в отдельных случаях (Персеиды, Дельта-Аквариды, Сев. и Южн. Тавриды, Геминиды и др.) несколько недель. За это время положение видимого радианта меняется, так как меняются орбиты встречаемых частиц и условия встречи их с Землей. Поэтому одной из целей визуальных наблюдений может явиться наиболее тщательное определение последовательных положений радианта на каждую ночь (так называемая *эфемерида*). Иногда для получения эфемериды надо затратить несколько лет. Для некоторых слабых малых потоков можно получить значение суточного смещения Δ радианта. Обычно оно направлено к востоку и потому положительно, но в некоторых случаях $\Delta = 0°$ или даже отрицательно, что следует особо отмечать. Как правило, радианты быстрых метеоров, например, Леонид, почти «точечные», их площадь менее 1 кв. градуса. Наоборот, радианты медленных, в особенности близэклиптикальных потоков (например, Виргинид) очень разбросаны на площади в сотни кв. градусов. Площади радиации метеорных ассоциаций рассеяны на тысячу и более кв. градусов. Циклиды, движущиеся по орбитам, почти совпадающим с орбитой Земли, и имеющие ту же орбитальную скорость, имеют площадь радиации всего неба (около 43 тыс. кв. град.) и период активности, равный целому году.

Метеорные тела, имеющие короткий период обращения P (от полугода до нескольких лет) и почти лежащие в плоскости эклиптики, в совокупности образуют общую «связку» орбит. Движение метеорных тел в этой связке прямое. В своем орбитальном движении в течение года Земля почти непрерывно пересекает эти орбиты и потому в области эклиптики постоянно действуют слабые, но многочисленные радианты, обычно сильно «размытые». Они последовательно проектируются на все зодиакальные созвездия и дают Ариэтиды, Тавриды, Геминиды, Канкриды, α-Леониды, Виргиниды (несколько потоков), Либриды, Скорпиониды, Сагиттариды, Каприкорниды, Аквариды и Писциды.

Другая группа орбит метеорных тел имеет тоже короткие периоды, но большие углы наклонения i к плоскости эклиптики. Если i больше 90° (например, у Леонид $i = 162°$), то направление движения таких роев является *обратным.*

Наконец, имеется группа орбит долгого периода (например, Лириды, Ориониды, Леониды). Наклонения i у них, как у долгопериодических комет, разнообразные. Бóльшую часть своего времени такие рои проводят вдалеке от больших планет и не испытывают гравитационных возмущений и потому составляют как бы основной «метеорный костяк» Солнечной системы. При помощи радиолокации были обнаружены также и другие группы роев, менее мощные, в том числе спорадические рои слабых, телескопических метеоров, наблюдаемых только раз, но в большом числе (тысячи).

Наименьшее число метеоров (до 5 в час на одного наблюдателя) приходится на февраль — март, а наибольшее — в августе, когда в эпоху Персеид на юге СССР визуально регистрируют до 400 метеоров в ночь. Осенью одновременно действуют 30—40 радиантов слабых потоков. Одни из них восходят, другие заходят, «метеорное небо» живет своей интенсивной жизнью, меняющейся от ночи к ночи. Опытному наблюдателю достаточно двух часов наблюдения, чтобы выяснить, чем сегодня «живет и дышит» метеорное небо.

Содержание табл. 8а таково. В первом столбце дан порядковый номер радианта, во втором и последующих столбцах приведено название потока, даты начала и конца его активности, затем дата максимума и часовое число n_h для этой даты. Далее идут экваториальные координаты (α, δ) видимого

радианта, выведенного из многих наблюдений, и затем приближенное значение видимой скорости в атмосфере *v км/сек*. Следующие два столбца указывают год и страну, где имеются первые дошедшие до нас наблюдения этого потока и упоминание, когда и где впервые было научно доказано существование соответствующего метеорного потока Последний столбец содержит краткие сведения о потоке, о движении соответствующего ему метеорного роя, связи его с соответствующей кометой, о имевших место в прошлом метеорных дождях и других вспышках активности часового числа n_h этого потока.

Таблица 8б соответственно содержит порядковый номер потока, эпоху активности (по фотографическим наблюдениям с учетом визуальных, если последние имелись), название потока, экваториальные координаты исправленного геоцентрического радианта (среднее равноденствие 1950,0) по фотографическим наблюдениям, данные о часовом числе n_h (по визуальным наблюдениям), значение фотографической скорости вне земной атмосферы *v км/сек* (т. е. исправленной за сопротивление воздуха). В последнем столбце даны примечания к потоку. D означает поперечник площади радиации, близкой к кругу, R — обозначение радианта, Δ — величина его суточного смещения, ε_g — угловое расстояние исправленного геоцентрического радианта от апекса, т. е. его элонгация, P — период обращения роя вокруг Солнца, i — наклонение орбиты, q, q' — соответственно перигелийное и афелийное расстояния.

Метеорными близнецами называются два метеора одного роя, следующие один за другим по той же орбите с интервалом менее 1000 секунд. Их наличие свидетельствует о их недавнем возникновении. Иногда два разных потока могут давать на сфере совпадающие радианты, тогда говорят об их *оптическом наложении.* Буквы N, S и Q означают северную, южную и эклиптикальную ветви роя. Иногда в одном рое, имеющем большую полуось орбиты a и период P, можно встретить много других метеорных частиц, имеющих значительно меньшие a и P, но тем не менее составляющие тот же рой (например, Персеиды, $\eta(\gamma)$-Аквариды и Ориониды, табл. 8а; №№ 142, 148 и 151 табл. 8б), что характерно для старых роев.

Таблица 8а

Главные метеорные потоки, известные по визуальным наблюдениям до середины XX столетия

№ п/п	Название потока	Эпоха активности	Дата максимума	Максимальное n_h	Видимый радиант α	δ	Видимая геоцентр. скорость, v, *км/сек*	Когда и где впервые замечен	Год открытия потока	Описание метеоров потока и общие примечания
1	Квадрантиды	27/XII—7/I	3/I	до 35	230°	+55°	35	1835 г., Швейцария	1839	Созвездие «Стенной Квадрант» упразднено, ныне *R* южнее ϑ — ι Дракона. Период 5,46 г. по Бредихину. Максимумы 1943 и 1948 гг. В России набл. с 1904 г.
2	Авригиды (февр.)	8—12/II	9/II		75	+42	—	ок. 1877 г., Англия	—	Заметный поток
3	Виргиниды (февр.)	13—21/II	—	5	205	—11	29	1869 г., Англия	1899	*R* очень сильно размыт, до (195° +5°)
4	Гидриды	21—23/II	—	4	132	+6	—	до 1948 г., Южн. Африка	—	Новый поток, открытый Гоффмейстером в экспедиции в Виндхук (Южн. Африка)
5	Боотиды (март)	Март	10/III	5	220	+10	—	—	1899, Англия	Быстрые метеоры. Радиант размыт. Поток известен десятки лет
6	Виргиниды (март)	12—22/III	12/III	4	192	+12	30	1872 г., Англия	1899, Англия	Эклиптикальный поток медленных ярких метеоров и болидов. Резко очерчены. Комета 1834 г.
7	Виргиниды-I	26/III—7/IV	11/IV	6	194	—7	31	1841 г., Европа	1899, Англия	Эклиптикальный поток. Яркие медленные метеоры и болиды
8	α-Виргиниды	Апрель	11/IV	7	210	—10	29	1841 г., Европа	1899, Англия	Резко очерченные желто-оранжевые метеоры, медленные, без следов
9	Геркулиды-I	9—23/IV	12/IV	5	273	+17	60	1877 г., Англия	1899, Англия	Быстрые метеоры. $D=5°$. Комета 1864 III?
10	Вульпекулиды	14—23/IV	—	до 5	317	+30	60	после 1875 г., Англия		Поток быстрых метеоров, связан с №№ 11 и 12. Комета 1911 VI.
11	Аквилиды	19—23/IV	—	до 5	285	+6	быстр.	1885 г., Англия	—	Хорошо заметный поток. Комета 1844 II
12	Сагиттиды-I	19—23/IV	—	до 6	312	+22	35	до 1900 г., Европа	—	Комета Каролины Гершель 1790 III и, возможно, кометы 1853 II

13	Лириды	18—24/IV	21/IV	< 10	270	+33	48	687 г. до н. э., Китай	1869, Австрия	Белые метеоры без следов. Дожди 1803 и 1922 гг. (с $n_h \approx 1800$). В обычные годы слаб ($n_h < 7-8$). Комета 1861 I с периодом 415 лет
14	η (γ)-Аквариды	21/IV—12/V	4/V	12	334	−4	66	401 г. н. э., Китай	1848, Германия	Очень быстрые длинные метеоры со следами. Комета Галлея 1910 II
15	Корониды (майск.)	21—31/V	—	6	232	+34	средн,	ок. 1872 г., Англия	—	Мелкие беловатые метеоры
16	γ-Скорпиониды	май — июнь	8—9/VI	7	228	−28	25—30	I тысячелетие до н. э., Эллада	1930, Германия	Яркие медленные желто-оранжевые метеоры. Нужны наблюдения на юге
17	Сагиттариды	июнь — июль	14/VI	8	270	−30	30	XIX в., Европа	—	Медленные желтоватые метеоры, резко очерчены. Нужны наблюдения на юге
18	Боотиды (июньские) (Понс — — Виннекиды)	27—30/VI	27/VI	?	212	+58	19	1916 г., Англия	1916, Англия	Крайне медленные красноватые метеоры. В 1916, 1922 гг. обильны, в 1927 г. до $n_h = 300$. После 1933 г. ослабел, дата видимости сместилась. Комета Понса — Виннеке. См. № 90 Табл. 86
19	Цефеиды-I (июньские)	11—21/VI	27/VI	до 7	313	+60	45	1872 г., Англия	1899, Англия	Белые метеоры, быстрые. Яркая комета 1850 г.
20	α-Цигниды	17/VI—31/VII	?	6—7	310	+45	средн.	до 1875 г., Англия	То же	То же, что и ζ-Цигниды и Цигниды авг. 4—18. Беловатые, без следов
21	Корвиды	До и после 27/VI	27/VI	3	192	−19	—	до 1948 г., Южн. Африка	1948, ГДР	Новый поток, ныне ежегодный. Нужны наблюдения. Комета Темпеля — Свифта
22	Каприкорниды	10/VII—20/VIII	15/VII	9	315	−15	30	до 1875 г., Англия	1899, Англия	Обширная площадь радиации. Отмечается ежегодно
23	δ-Аквариды, Сев. » Юж.	23/VII—22/VIII	28/VII	4 > 12	334 338	−5 −17	40	714 г. н. э., Китай	1871, Европа	Богатейший поток южного неба. Активен еще в XI в. в Китае (Сев. ветвь). Наблюдается днем как радиопоток Ариэтид
24	Кассиопеиды	17/VII—15/VIII	28/VII	до 18	14	+63	60	XI в. н. э., Китай	1869, Европа	Подобны Персеидам и связаны с ними
25	Южные Писциды	18/VII—12/VIII	2/VIII	до 10	345	−30	40	до 1875 г., Европа	1934, Австралия	Хорошо заметный поток ярких медленных метеоров

Продолжение табл. 8а

№ п/п	Название потока	Эпоха активности	Дата максимума	Максимальное n_h	Видимый радиант α	δ	Видимая геоцентр. скорость, v, *км/сек*	Когда и где впервые замечен	Год открытия потока	Описание метеоров потока и общие примечания
26	Пегасиды (июльск.)	18—31/VIII	—	до 9	341°	+21°	ок. 50	1867 г., Англия	XX в., Европа	Яркие и быстрые белые метеоры со следами
27	Персеиды	9/VII—17/VIII	11—12/VIII	> 60	45	+57	61	830 г. н. э., Китай	1834, США; 1839, Франция	Поток-гигант. Быстрые белые метеоры со следами. Падение пачками по 6—15 метеоров за 2—3 минуты. В 1921 г. n_h=400 (!). Смещение *R*. Комета 1862 III. С 1840 г. набл. ежегодно. Первая метеорная орбита 1838 г.
28	ϰ-Цигниды	10—25/VIII	ок. 20/VIII	до 11	290	+53	25	до 1875 г., Англия	1938, СССР	Прежнее назв. ϑ-Цигниды. 17—18/VIII 1955 г. n_h=100. См. Табл. 8б, № 116
29	Цефеиды (авг.)	10—24/VIII	20/VIII	до 8	311	+62	быстр.	То же	1899, Англия	Богаты в 1892 г.
30	Камелепардиды	10—25/VIII	20/VIII	7	70	+65	70	» »	1925, СССР	Быстрые яркие метеоры со следами. Отмечены в 1925 г. на Украине
31	Авригиды (авг.)	14—31/VIII	30/VIII	до 8	89	+41	69	1872 г., Англия	1930, Германия	Новый поток. Метеоры кометы Киса 1911 II. Быстрые со следами
32	Линксиды (сент.)	14—16/IX	—	до 5	102	+52	58	1867 г., Англия	1899, Англия	Комета 1858 VI Донати. Быстрые, яркие метеоры со следами
33	Писциды (сент.)	1—24/IX	11/IX	до 5	349	+3	27	до 1886 г., Англия	—	Комета 1907 IV Морхауза. Ряд *RR*. Медленные яркие метеоры
34	Пегасиды (сент.)	2—6/IX	5/IX	9	1	+15	ок. 60	до 1875 г., Англия	—	Много быстрых метеоров от γ Пегаса, яркие со следами
35	Дракониды	8—10/X	10/X	?	262	+56	23	1872 г., Англия	1926, Англия	Для 5—12/X 1885 г. известен *R* (262° +64°) за 15 лет до открытия кометы Джакобини — Циннера. Дожди в 1926, 1933 гг. (n_h=1000) и в 1946 г. Чрезвычайно медленные красноватые метеоры

36	Писциды (окт.)	7—20/X	10?/X	до 4	22 +18	ок. 20	после 1876 г.	1948, ГДР	Медленные красноватые метеоры; рассеянный радиант
37	Ориониды	14—26/X	22/X	45	94 +15	66	1862 г., Греция	1869, США	Вторичная встреча метеоров кометы Галлея 1910 II в нисход. узле ее орбиты. Большой поток белых метеоров со следами
38	Южн. Ариэтиды	11—27/X	20?/X	до 11	ок. 32 +20	ок. 20	1928 г., Англия	1940, США	Медленные оранжевые метеоры без следов
39	Цетиды	13—24/X	20/X	до 10	45 +10	оч. медл.	1869 г., Англия?	—	Внезапно 20/X 1935 г. дали вспышку активн. с $n_h = 100$(!)
40	Тавриды, Сев. Тавриды, Юж.	18/X—30/XI 29/X—25/XI	14?/XI нач. XI	до 5 10	56 +22 55 +14	ок. 26 30	XI в. н. э., Китай То же	1869, Европа	Желто-оранжевые медленные метеоры. Сев. Тауриды движутся по орбите кометы Энке (Уиппл). Вторично, возвращаясь от Солнца, встречают Землю днем в ☋ своей орбиты как радиопоток β-Тавриды
41	Ариэтиды	Ноябрь	12/XI	11	42 +20	29	до 1899 г., Англия	1949, США	Накладываются на *RR* Северных Таурид
42	Андромедиды	10—27/XI	ок. 12/XI	?	24 +44	оч. медл.	1741 г., Россия	1867, Австрия	Очень медленные красноватые. Дожди 27/XI 1872 г. и 1885 г., комета Биэлы. В 1898 г. отдельные метеоры. Переоткрыты фот., максимум ныне 12/XI
43	Леониды	8—18/XI	17/XI	5—15	152 +22	72	899 г., Египет	1832, Россия; 1833, США	Оч. быстр. метеоры, зеленоватые следы даже у слабых. Имели 33 возвращения к перигелию (отмечены 22 дождями). Дожди 1901 г. (Англия), 1934 г. (Ср. Азия) и 17/XI 1966 г. ($n_h = 140\,000$!, Сов. Арктика; США) весьма кратковременны. Комета Темпеля — Туттля 1965 f с периодом $P = 33{,}25$ г.
44	Моноцеротиды	21—22/XI	21/XI	?	110 −5	ок. 35	до 1875 г., Англия	1935, ЧССР	Новый поток белых метеоров без следов. Внезапные максимумы в 1925 и 1935 гг. с $n_h = 100$

Продолжение табл. 8а

№ п/п	Название потока	Эпоха активности	Дата максимума	Максимальное n_h	Видимый радиант α δ	Видимая геоцентр. скорость, v, *км/сек*	Когда и где впервые замечен	Год открытия потока	Описание метеоров потока и общие примечания
45	Геминиды	25/XI—18/XII	13/XII	до 100	112° +33°	ок. 35	1862 г., Европа	1862, Англия	Самый обильный поток северного неба. Белые метеоры без следов. За 22 сут. R смещается на 27°. Элл. орбита в СССР в 1931 г. подтверждена в 1947 г. в США. $q=0{,}14$, $P=1{,}5\div2$ года
46	Фенициды	5—6/XII	—	?	16 −42	ок. 25	1956 г., Южн. Африка и Австралия	—	Неожиданный метеорный дождь 5—6/XII 1956 г. с $n_h=300$, белые метеоры без следов. Комета Бланпэна 1819 VI?
47	α-Дракониды I	9—13/XII	—	4	210 +72	ок. 60	до 1875 г., Англия	1899, Англия	Яркая комета Понса 1812 г. Два центра радиации быстрых метеоров
48	Канкриды	2—12/XII	12/XII	до 6	121 +25	ок. 35	до 1877 г., Англия	1899, Англия	Несколько центров RR, оптическое наложение нескольких потоков, включая быстрые со следами из R (132° +31°)
49	Урса-Минориды («Урсиды»)	22—25/XII	22/XII	до 2	233 +83	35—40	1890 г., Англия	1945, ЧССР	Неожиданное появление нового потока 22/XII 1945 г. кометы Туттля 1939 X при $n_h\approx100$. Период кометы 13,6 г. Возможен максимум в 1972 г.

Таблица 8б

Фотографические радианты малых метеорных потоков

№№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, км/сек	Примечание
1	1—31/I	1 H — Камелепардиды	51°	+66°	2	17,7	Максимум 24/I, $D\approx 8$, активный
2	3—20/I	60-Ориониды	90	0	—	17,2	За 17 суток *R* смещается на 18° параллельно эклиптике. $D=1°$, $\Delta=+1°$
3	1—13/I	α-Ориониды	91	+9	—	20,8	Виз. в XX в., наблюдался недостаточно. $P=5{,}35$ года
4	26/XII—14/I	δ-Авригиды	91	+51	—	21,0	Медленные. Болиды. $D\approx 7°$
5	15—26/I	ψ-Авригиды	99	+45	—	17,7	Эклиптикальный рой. $D\approx 8°$
6	15?—24/I	α-Геминиды	114	+31	—	21,0	Виз. в XIX в., за 70 лет *D* увелич. с 2° до 5°, $\Delta=+0°{,}8$
7	2—14/I	δ-Канис-Майориды	110	—26	?	32,2	2/I 1873 г. загадочный звездный дождь «Сириусид» с $n_h>1800$. $\Delta=+1°{,}5$; $P=43$ года. Максимумы в 1873, 1916 и 1959 гг.
8	8?—21/I	γ-Канкриды	126	+22	—	27,1	Эклиптикальный рой. Виз. с 1867 г. Болиды. *D* до 5°; $\Delta=1°{,}2$. Активный
9	13—19/I	ϑ-Канкриды	125	+17	—	29,7	Короткопериодический; $i=55°$
10	3—15/I	31-Моноцеротиды	129	—10	—	43,6	$D\approx 4°$, $\Delta\approx +0°{,}7$
11	17—23/I	α-Линксиды	136	+31	—	34,7	Максимум 17/I. Связь с яркой кометой 1533 г. ($q=0{,}33$; $i=28°$). Виз. набл. в XIX в.
12	16—21/I	η-Кратериды	117	—19	4	58,1	Быстрые. Максимум 16/I. Радиант размыт ($D=6°$ виз.)
13	11—25/I	γ-Комиды	187	+20	—	66,8	Известен с 1887 г. Связь с кометой 1913 I. Быстрые. Активны. Оптически налагаются другие *RR* в ту же эпоху
14	13—20/I	α-Боотиды	211	+25	1—2	62,8	$D=5°$, $\Delta\approx +0°{,}8$. Виз. набл. в XIX и XX вв.
15	5—17/II	g-Геминиды	118	+20	—	17,7	Возможны две ветви (*N* и *S*), симметричные относительно эклиптики
16	11—27/II	δ-Моноцеротиды	117	0	—	14,4	Известны с 1868 г. $D=5°$
17	3—6/II	η-Леониды	147	+16	—	30,4	Эклиптикальный рой
18	14—24/II	α-Леониды	149	+13	—	24,4	$D\approx 4°$. Эклиптикальный
19	17—26/II	43-Леониды	156	+6	—	13,3	Крайне медленны, 13 *км/сек*. $D\approx 2°$, $\Delta>0$. Афелийное расстояние $q'=1{,}3$ а. е. (!)
20	4—20/II	37-Лео-Минориды	157	+30	—	29,8	$D=6°$. Виз. набл. с XIX в.
21	12—17/II	40-Лео-Минориды	158	+26	—	27,6	Виз. наблюдался с 1872 г. $D=2°$

№№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант α	δ	n_h	v_∞, *км/сек*	Примечание
22	11–21/II	σ-Леониды	169°	+6°	—	40,0	Связь с № 23, $D=1°$. Малое $q=0,14$ а. е. Виз. набл. в XIX в.
23	3–20/II	β-Леониды	174	+11	3–5	36,0	Связан с № 22. Болиды. Виз. набл. в XIX и XX вв. Малое $q=0,16$ а. е.
24	3–20/II	14-Комиды	182	+30	—	43,8	$D=5°$, $\Delta\approx+0°,7$. Яркие метеоры. Сильно вытянутая эллиптич. орбита, $i=56°$
25	21/I–24/II	Корониды	244	+28	—	59,2	Один из главнейших малых потоков. Связан (?) с кометой Темпеля 1869 II. $D=7°$: $\Delta=+0°,8$. Активен в течение месяца
26	13–20/II	α-Серпентиды	235	+6	—	63,7	$D\approx3°$, $\Delta\approx+0°,8$. Рой имеет обратное движение
27 (a)	1–23/III	Урса-Лео-	166	+23	—	21,6	Две группы (a) и (b) радиантов с $D=2°$ и 4°, $\Delta\approx+1°,5$
(b)		ниды	177	+29	—	21,9	
28	18–19/III	χ- Леониды	168	+7	—	21,7	Эклиптикальный поток. $D\approx7°$
29	1–18/III	ν-Виргиниды	173	+6	—	27,2	Близок к № 31. Большой $D\approx8°$, $(\Delta=+1°,0)$
30 (*N*)	12–20/III	β-φ-Леониды	176	+14	—	20,0	*N* и *S* ветви; их орбиты одна внутри другой, очень короткие периоды, $P=2,0$ и 2,6 года соответственно
(*S*)			168	−2		19,9	
31	1–21/III	95-Леониды	180	+16	—	26,6	Связан с № 29. Визуально *R* болидов. Максимум 1/III
32	4–20/III	η-Виргиниды	184	+2	—	30,8	$D=7°$, $\Delta=+1°,1$. Сходен с № 33. Виз. набл. в XIX в.
33	1–6/III	β-Виргиниды	178	0	—	35,2	$D=6°$. Сходен с № 32
34	1–13/III	α-Каниды	191	+38	—	13,5	Орбита близкая к круговой, расположена близ орбиты Земли ($a=1,04$; $e=0,19$, наименьший $P=1,06$ г.). Напоминают Циклиды. Наблюдались метеорные близнецы
35	10–15/IV	η-Канкриды	126	+20	—	10,6	Почти круговая орбита ($a=1,18$; $e=0,15$). Радианты в антиапексе, сильно разбросаны. При элонгации $\varepsilon_g=163°$ их скорость $v_\infty=10,6$ *км/сек*, минимально возможная
36	2–15/IV	ζ-Леониды	155	+27	—	15,4	Радианты чрезвычайно разбросаны ($\varepsilon_g=138°$)
37	7–22/IV	β-Урсиды	156	+56	2	15,0	Виз. набл. в XIX и XX вв. *D* возрос с 1° до 10° (фот.)
38	5–11/IV	ι-Леониды	171	+12	—	15,8	Эклиптикальный, медленные метеоры. $D\approx13°$

№№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, км/сек	Примечание
39	5–18/IV	α-Каниды	188°	+34°	–	15,8	$D=3°$. Короткий период $P=2{,}28$ года. Медленные
40	7–16/IV	ε-Виргиниды	191	+13	–	16,7	$D=6°-10°$, $P=2{,}10$ г. Медленные
41	6–12/IV	17-Виргиниды	186	+8	–	20,4	Нужны наблюдения
42	9–16/IV	χ-Виргиниды	190	–7	–	22,1	$D\approx5°$, $P=4{,}34$ года
43	1–16/IV	β-Комиды	197	+25	–	19,4	Короткий период. $D\approx3°$, $\Delta=+0°{,}8$. Виз. R набл. в XIX в.
44	2–16/IV	δ-Виргиниды	195	+5	–	14,8	$D=5°$. Очень медленные метеоры. $P=1{,}48$ года! Виз. R наблюдался в XIX в.
45	11–15/IV	46-Виргиниды	196	0	–	20,6	Медленные метеоры, $D\approx5°$
46	7–21/IV	71-Виргиниды	199	+11	–	23,4	D до 6°. Виз. R наблюдался с XIX века. $P=5{,}07$ лет
47	10–16/IV	65-Виргиниды	199	–5	–	23,4	Эклиптикальный рой. $D\approx2°$, $\Delta=+1°{,}1$
48	2–27/IV	α-Виргиниды	209	–10	7	32,8	Виз. R набл. в XIX и XX вв. Поток ярких метеоров и болидов. Максимум 11/IV. D до 7°, $\Delta=+1°{,}1$. $P=5{,}81$ года
49	2–7/IV	86-Виргиниды	208	–14	–	33,4	Разброс в скоростях, тенденция к двум группировкам. $D\approx8°$
50	Апрель	Либриды	209	–10	8	18,4	Медленные метеоры. Длительная эпоха активности. Орбита роя почти совпадает с орбитой Земли. $P=1{,}04$ года
51	13–25/IV	ρ-Боотиды	214	+34	2	25,8	Яркие метеоры. $P=7{,}38$ года. Виз. R наблюдался в XIX и XX вв.
52	6–24/IV	μ-Виргиниды	218	–10	8	44,0	Резко отличен от № 61. Максимум 11/IV. $P>110$ лет
53	9–26/IV	β-Либриды	216	–1	9	30,4	$D=7°-11°$. Поток дает болиды. Виз. R наблюдался в XIX и XX вв.
54	1–12/IV	κ-Серпентиды	230	+17	–	46,7	$D\leqslant11°$, Δ неизвестно, разброс скоростей, возможны две группы. Наклон орбиты $i=64°$. Виз. наблюдался в конце XIX в. Оптически налагаются другие RR
55	9–26/IV	α-Корониды	238	+29	2	40,4	Период 462 года (!), афелий за пределами орбиты Плутона; $i=56°$. Рой на поздней стадии развития. $D=10°-15°$

Продолжение табл. 86

№№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант α	δ	n_h	v_∞, км/сек	Примечание
56	25/III—12/IV	π-Геркулиды	248°	+43°	4?	40,0	q'=13 а. е. (за орбитой Сатурна). $P\approx 28$ лет. Виз. наблюдался в XIX и XX вв. В отдельные годы активен до 30/IV
57	28/IV—4/V	19 Н-Камелепардиды	74	+79	—	16,1	Медленные. Афелий 2,80 а. е. (в зоне астероидов)
58	3—8/V	Урса-Дракониды	219	+64	—	18,8	Разброс радиантов по α
59	26/IV—11/V	α-Виргиниды	199	−11	2—3	18,8	$D\approx 12°$. Виз. R наблюдался в XX в.
60	2—9?/V	25-Каниды	205	+34	—	16,2	Короткопериодический. Медленные метеоры. Виз. R наблюдался с 1867 г.
61 (*N*) (*S*)	26/IV—12/V	μ-Виргиниды	214 210	−8 −16	—	23,0 21,7	Некогда крупный рой. N и S — ветви. $D\geqslant 15°$. Много болидов. Эклиптикальный рой короткого периода. Резко отличен от № 52
62	21/IV—12/V	α-Корониды	219	+17	—	22,6	D до 15°. Виз. R наблюдался с конца XIX в. В XX в. n_h=4 (виз.)
63	23/IV—11/V	β-Урса-Минориды	237	+74	—	13,7	Близэклиптикальный рой, хотя R находится в UMi, Очень медленные метеоры. P=1,50 года
64 (*N*) (*S*)	26/IV—15/V	Либриды	227 219	−9 −24	7	28,4 29,3	Довольно крупный рой. N и S ветви. Очень большой D= 25° (!) (фот.) Возможна связь с № 53
65	5—12/V	11-Либриды	220	+3	—	16,3	$D\approx 8°$; медл. метеоры. P= =2,07 года
66	22/IV—12/V	ι-Либриды	227	−18	—	31,2	$D\approx 8°$
67	21/IV—8/V	χ-Геркулиды	238	+41	—	27,9	Сложное поле радиации, два центра? $D\approx 11°$, Δ=+1°,0
68	28/IV—15/V	Серпентиды	230	+16	2—3	32,2	Яркие медленные метеоры. $D\approx 5°$. Максимум 14/V
69	19/IV—15/V	β-Скорпиониды	241	−18	8	35,0	Богатый близэклиптикальный рой. D=6° (виз.). В XX в. большая пл. радиации, неск. центров, D до 14° (фот.), Δ=+1°,2
70	19/IV—16/V	μ-Дракониды	242	+49	2	16,3	$D<10°$. Набл. виз. в XX в. Δ неясно. Очень медл. метеоры. P=1,35 года. q'= =1,49 (орбита Марса)
71 (*N*) (*S*)	1—19/V	Скорпиониды	249 250	−17 −28	2	38,4 38,0	Замечательный близэклиптикальный рой. Множество болидов. Обширная площадь радиации ($D\leqslant 18°$, фот.) и протяженная эпоха активности. q=0,13. N и S ветви. q'=3,02 ÷ 4,12. Максимум 12/V

№№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, км/сек	Примечание
72	20/IV—9/V	δ-Геркулиды	≈250°	+27°	—	35,9	Один из заметных малых роев. Виз. набл. в XIX в. $D \leqslant 7°$. Связь с кометой 1748 II (парабол. орбита)
73	23/IV—12/V	ι-Геркулиды	267	+44	2	38,0	Визуально наблюдался в XX в.
74	30/IV—13/V	δ-Цигниды	301	+45	—	13,5	$D \approx 13°$. Почти круговая орбита внутри орбиты Земли ($a = 0{,}87$, $q' = 1{,}02$ а. е., $P = 0{,}81$ года (!))
75	22/V—8/VI	ε-Урса-Майориды	187	+58	—	16,0	$D = 6-14°$. Очень медл. метеоры
76	19/V—9/VI	ε-Боотиды	224	+28	—	18,6	Длительный поток с большим D. $q' = 5{,}21$ (на орбите Юпитера)
77 (a)	21/V—4/VI	Либра-Центавриды	228	—4	—	17,7	Сильно возмущенный эклиптикальный рой с большим D. N и S ветви
(b)			218	—31	—	18,5	
78	1—9/VI	k-Боотиды	231	+44	—	18,1	$D \approx 6°$. Медленные метеоры.
79 (N)	23—29/V	Либра-Люпиды	237	—9	—	21,6	Сходство с № 81. N и S ветви. Медленные и красноватые. Элонгация $\varepsilon_g = 105°$
(S)			227	—41	—	21,0	
80	28/V—2/VI	κ-Корониды	237	+37	—	20,3	Близэклиптикальный короткопериодич. рой, $D \approx 5°$. Наблюдались метеорные близнецы
81	27/V—5/VI	δ-Скорпиониды	239	—21	—	23,1	Сходен с № 79. $P = 5{,}04$ года, $q' = 5{,}2$ а. е. Часты болиды. Имеются метеорные близнецы
82	22/V—11/VI	α-Геркулиды	258	+18	—	25,4	Радианты смещаются (не параллельно эклиптике) по большому кругу, проходящему недалеко от положения Солнца на эклиптике
83	1—9/VI	ζ-Офиухиды	250	—7	—	25,5	Заметный визуальный поток 17—26/VI (260°—20°), по-видимому, его продолжение
84	25/V—8/VI	ε-Скорпиониды	252	—31	—	27,4	$D \approx 12°$
85	2—13/VI	β-Офиухиды	256	—2	2—3	27,9	D до 12°. Виз. R наблюдался в XIX и XX вв.
86	25/V—20/VII	Сагиттариды	265	—19	6	30,7	Большой эклиптикальный рой. Активен 57 сут. (!), максимум размыт, $D \approx 20°$ (!). Возможны N и S ветви. Связан с № 96
87	21/V—4/VI	ϑ-Офиухиды	263	—28	—	36,6	Ср. с № 83. R смещается параллельно эклиптике, $\Delta = +0°{,}9$
88	22/V—13/VI	ζ-Дракониды	264	+57	3	26,9	Виз. R отмечен в 1885 г. Довольно медленные метеоры и болиды. Ср. с № 91

№№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, *км/сек*	Примечание
89	22/V—10/VII	μ-Сагиттариды	278°	—18°	6	43,4	Активен около 50 суток. Сложное поле радиации. Сильно эксцентрическая орбита с очень малым $q=0{,}10$. $P=14{,}5$ года
90	13/VI—2/VII	Бootиды	229	+48	—	18,0	Связан с кометой 1915 III Понса — Виннеке. Наблюдались в 1922, 1927—1928 ($n_h \approx 300$), 1930 гг. *RR* сильно рассеялись. В 1944 г. макс. 13/VI при $D \approx 20°$
91	16—25/VI	ζ-Дракониды	252	+69	—	23,3	Сходство с № 91
92	14—30/VI	μ-Дракониды	250	+53	2—3	26,2	Виз. радиант отмечен в 1869 г. Не изучен. $P=431$ год
93	22—30/VI	Офиухо-Скорпиониды	246	—12	—	18,1	Разбросанные *RR*. По-видимому, имеются *N* и *S* ветви (и возможно *Q* ветвь). Медленные метеоры
94 (*N*)	16/VI—3/VII	Офиухиды	257	—10	—	21,1	Большой эклиптикальный рой с *N* и *S* ветвями. Визуальными наблюдениями (1944 г.) подтверждается *N* ветвь. Радианты *S* ветви трудно наблюдаемы в сев. широтах
(*S*)			259	—32	—	21,0	
95	22/VI—6/VII	ξ-Серпентиды	268	—14	—	23,4	Эклиптикальный рой. $D=10°$
96	12—29/VI	Скутиды	276	—15	—	29,3	Возможно, связан с № 86. Большое поле радиации. $P=5{,}83$ года. Сильное влияние Юпитера. Виз. наблюдался в XIX и XX вв.
97	25/VI—3/VII	η-Серпентиды	278	—3	—	25,3	Виз. радиант отмечен в 1872 г. В потоке возможны метеорные близнецы
98	24/VI—6/VII	π-Сагиттариды	289	—24	—	32,0	Малая площадь радиации. Должен вторично встречать Землю в конце декабря с *R* в созвездии Тельца
99	13—28?/VI	ζ-Цигниды	316	—36	—	51,5	Наклонение орбиты $i=90°$. Вторично встречает Землю в середине декабря с *R* в созвездии Корабля Арго. $P=42{,}9$ года
100	14/VII—15/VIII	Кассиопеиды	13	+53	~10	59,7	Богатый поток ярких метеоров со следами, действует более месяца. *D* значителен, возможны два центра радиации. По фотографическим данным рой не отличим от α-Кассиопеид, известных виз. с 1877 г.

Продолжение табл. 8б

№№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, км/сек	Примечание
101	19—25/VII	π-Геркулиды	261°	+40°	—	18,4	Медленные метеоры
102	23/VII—2/VIII	13-Лириды	278	+50	3—5	27,3	Поток ярких метеоров. Виз. R наблюдался с 1875 г.
103	14?—31/VII	γ-Дельфиниды	310	+19	—	34,5	Виз. R отмечен до 1887 г. Медленные метеоры, ряд RR
104	10—23/VIII	γ-Андромедиды	13	40	—	60,4	Быстрые метеоры. Виз. наблюдения с 1877 г. $q'=9{,}6$, $P=11{,}4$ года, $i=118°$
105	17—28/VIII	α-Персеиды	40	+49	—	63,1	Быстрые со следами, типа Персеид. Элементы орбиты близки к орбите кометы 1870 I. Виз. наблюдения в конце XIX в.
106	18—29/VIII	39-Ариэтиды	46	+30	—	71,3	Точечный R (виз. и фот.) $D=0°$, $\Delta=0°$. Нужны дальнейшие исследования
107	10—31/VIII	ε-Тавриды	59	+18	2	69,2	Эклиптикальный рой с обратным движением, $i=176°$. $D=2°$. Виз. наблюдался в XIX и XX вв.
108	12—25/VIII	ε-Персеиды	64	+36	3	69,6	Яркие метеоры со следами. $D=4°$. Виз. наблюдался в XIX и XX вв.
109	6—11/VIII	ϰ-Лириды	259	+32	—	17,0	Виз. R известен до 1874 г. За 60 лет D увелич. с 1° до 14°. Весьма медленные метеоры
110	14—29/VIII	ζ-Дракониды	271	+54	?	24,3	Медленные метеоры. Рой претерпел сильные возмущения. D увелич. с 2° до 20° (за 70 лет). Виз. набл. с XIX в.
111	29/VII—21?/VIII	ν-Офиухиды	264	—13	4	14,3	Возможно, единый рой с № 114. $D=13°$. Чрезвычайно медленные метеоры
112	8—22/VIII	b-Дракониды	272	+61	—	24,2	Сходство орбит с № 110. Большой D. Яркие медленные метеоры
113	13—25/VIII	ι-Геркулиды	270	+43	—	24,2	Сходство орбит с № 110. Медленные метеоры. Виз. наблюдался в 1944 г. $P>147$ лет. $q'>28$ а. е.
114	5—14/VIII	γ-Скутиды	276	—18	—	15,9	Орбита сходна с № 111. $D\approx16°$. Крайне медленные метеоры. Виз. R наблюдался в 1944 г.
115	4—9/VIII	ε-Лириды	283	+42	—	3,8	Возможно, связан с виз. R (292° + 42°), 3—13 авг.

№№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, км/сек	Примечание
116	17–25/VIII	ϰ-Цигниды	290°	+54°	—	27,0	Виз. набл. с конца XIX в., хорошо известный поток. Оптическое наложение *R* быстрых метеоров
117	1–16/VIII	η-Аквилиды	296	+4	—	21,6	Виз. набл. около 100 лет. Сходство с орбитой № 118. Медленные метеоры. Возможны метеорные близнецы
118	14–25/VIII	η-Сагиттиды	299	+16	—	22,2	Сходство с орбитой роя № 117. Виз. *R* набл. в XIX в.
119	19/VII–13/VIII	η-Пегасиды	342	+32	—	47,9	Активный поток. $P > 21$ года, $i = 76°$. Виз. *R* наблюдался в XIX в.
120	10–27/IX	β-Персеиды	44	+44	3	60,8	$D = 2°$. Виз. *R* отмечен в XX в. и почти не наблюдался
121	12?–27/IX	π-Ориониды	69	+8	4	69,2	Быстрые метеоры со следами. Обратное движение ($i = 155°$, $P > 132$ лет)
122	15/IX–15/X	β-Камелепардиды	67	+45	3–5	69,2	Быстрые метеоры со следами, активен в течение месяца. Максимум активности после 28/IX. Виз. *R* набл. в XIX и XX вв.
123	7–24/IX	о-Ориониды	72	+16	1–2	74,3	Близэклиптикальный рой с обратным движением ($i = 170°$). Чрезвычайно быстрые метеоры со следами
124	14/IX–2/X	ι-Авригиды	78	+36	1–2	68,8	$D \geqslant 7°$. Виз. *R* набл. в конце XIX в. Вблизи и одновременно активен виз. *R* (86° + 42°), 18–25 сент.
125	19/IX–2/X	56-Авригиды	99	+45	—	68,3	Очень быстрые метеоры. Виз. *R* набл. в XIX и XX вв. *D* до 7°. Вблизи несколько виз. *RR*. Фотогр. наблюдались метеорные близнецы
126	18?/IX–1/X	ζ-Дракониды	276	+62	—	25,0	$D = 5°$, $\Delta = 0°$. Виз. *R* набл. в 1893–1898 гг.
127	16/IX–5/X	δ-Дракониды	311	+72	3–4	32,0	Виз. наблюдался в конце XIX в.
128 (a)	10–25/IX	Аквилиды	300	+10	—	15,9	Две (a) и (b) группы радиантов на расстоянии 27° (!) на небесной сфере. Очень медленные метеоры
(b)			302	−17	—	13,1	

№№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, км/сек	Примечание
129	11/IX—3/X	Эквулеиды	328°	+1°	—	15,6	Большая площадь радиации, $D\approx20°$ (!). (Область антиапекса)
130	15/IX—1/X	β-Писциды	339	−7	—	19,1	Эклиптикальный рой. Виз. R отмечен в конце XIX в. $D=3°$
131	8?—24/X	ι-Писциды	6	+4	—	20,1	$D=7°$. Сходство орбиты с №№ 132 и 133. Виз. R набл. в конце XIX в.
132	16—24/X	56-Цетиды	26	−23	—	18,6	Связан с № 133. Сходство орбиты с № 131. $D\approx14°$
133	19—21/X	χ-Цетиды	22	−11	—	18,1	Медленные метеоры. Связан с № 132 и имеет сходство орбит с № 131. Малая площадь радиации. Возможны метеорные близнецы
134	11—26/X	Моноцеротиды	101	−3	4	68,2	Быстрые метеоры. Виз. R набл. в XIX в.
135	8—18?/X	σ-Урса-Майориды	130	+67	—	56,7	Виз. R отмечен в конце XIX в. $D=2°$. Сильно вытянутая орбита с $i=101°$, $P=54$ года
136	21—31?/X	Лео-Минориды	160	+37	—	63,2	Виз. R набл. в XIX в. и по Деннингу это ω-UMads. Фоторадианты ныне целиком в Leo Minor. $P=62$ года
137	16—19/X	γ-Урса-Минориды	218	+71	—	39,7	Долгопериодический рой с большим наклонением орбиты ($i=62°$)
138	6?—12/X	ε-Дракониды	305	+59	—	26,5	Виз. R наблюдался в конце XIX в. Оптически накладывается R другого потока. Только по наклону (на 34°) отличается от роя № 139
139	9—23/X	α-Каприкорниды	316	−8	1—2	15,6	Эклиптикальный. Яркие метеоры и болиды. Виз. R набл. в XIX в.
140	14—19/X	4-Кассиопеиды	351	+61	—	33,0	Виз. R отмечен в XX в.
141	6—28/XI	ε-Эриданиды	58	−5	1—2	31,5	Виз. радиант до 1940 г. мало заметен. В 1952—1953 гг., возможно, было некоторое усиление активности (фотогр. набл.); $D\leqslant13°$

№№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, *км/сек*	Примечание
142 (a) (b)	11—20/XI	ζ-Тавриды	82° 82	+30° +15	4	41,2 47,3	Поток ярких метеоров. Исключительно малое q=0,07 а. е. Две (a) и (b) группы радиантов и соответствующих им орбит
143 (N) (S)	2—20/XI	Кмино-Авригиды	106 106	+44 +10	2	58,8 61,1	Поток быстрых метеоров. N и S ветви. Обратное движение. q'=14,4 и 13,6 а. е. P=20,0 и 18,0 лет соотв.
144	12/XI	μ-Пегасиды	340	+22	—	15,1	Медленные, догоняющие Землю метеоры
145 (N) (Q) (S)	8—17/XII	δ-Ариэтиды	44 51 64	+47 +22 0	— — —	17,8 17,1 18,2	Исключительный рой, имеющий сев. (N), южн. (S) и эклиптикальную (Q) ветви. Для N и S ветвей $D \approx 25°$ (!), для Q ветви $D \approx 3°$
146	25/XI—13/XII	ε-Персеиды	57	+34	4	20,8	Короткопериодический (P=5 лет), эклиптикальный рой. Медленные метеоры
147	4—12/XII	γ-Ориониды	80	+4	—	27,7	Виз. R набл. в XX в. Возможно, связан с № 148
148	4—14/XII	ζ-Тавриды	85	+20	5—6	28,0	Большой эклиптикальный рой. Болиды. Виз R набл. в XIX в. D возрос до 13°. Возможна связь роев № 147 и 149
149	9—14/XII	ε-Геминиды	90	+27	5	32,4	Возможна связь с № 148. Не является ветвью известного большого потока Геминид
150	12—17/XII	Моноцеротиды	104	+9	—	43,6	Виз. известен с 1944 г.
151 (N) (S)	2—15/XII	Гидро-Канкриды	134 127	+31 +2	~3	60,7 58,8	N и S ветви большого роя. N ветвь бедна виз. и фотогр. наблюдениями
152	13—31/XII	ι-Гидриды	143	−1	—	65,3	Фотографич. R смещается параллельно эклиптике. D=0°, $\Delta \approx +1°,0$
153	10?—20?/XII	ξ-Урса-Майориды	160	+32	—	61,1	Виз. R набл. в конце XIX в. Рой с обратным движением (i=134°)
154	10—13/XII	τ-Кассиопеиды	352	+53	—	17,4	Короткопериодический рой (P=5,6 года). Радианты очень разбросаны

Таблица 9

Кометные радианты

В таблице приведены кометные радианты, в той или иной мере подтвержденные наблюдениями метеорных радиантов, радианты комет, орбиты которых сближаются с орбитой Земли на расстояние, меньшее 0,05 астрономической единицы, и кометные радианты, близкие по эпохе и координатам к радиантам известных метеорных потоков: Лирид, γ-Акварид, Боотид, Персеид и Леонид.

В третьем столбце приведены расстояния Δ между орбитами кометы и Земли в узле или в точке максимального сближения орбит. В последнем столбце дается название потока (по ближайшей яркой звезде или созвездию).

№	Комета	Δ	Дата	α	δ	Поток
1	1792	0,066	Январь 6	214°,5	+16°,5	ζ Boo
2	1770 II	0,027	12	220	−30,5	
3	1533	0,080	17	138	+35	σ Cnc
4	1759 III	0,052	21	202	−13	α Vir
5	1840 I	0,037	22	129	−27,5	
6	1913 I	0,011	24	187,3	+22,2	Com
7	1718	0,029	Февраль 1	209	−31,5	π Hya
8	1833	0,028	3	139	+22	ε Leo
9	1092	0,012	7	103	−36	
10	1743 I	0,025	8	348	−5	
11	868	0,030	10	185,7	+34,7	C Vn
12	1947 III	0,025	12	236	+12	λ Ser
13	1858 IV	0,045	16	272,5	+11	
14	1948 XII	0,225	16	156	+27	LMi
15	574	0,02	17	112	−61	
16	1590	0,199	22	263	−24	ξ Sgr
17	1683	0,083	Март 18	208	−49,5	α Lup
18	1954 X	0,02	22	254	+57	
19	1862 IV	0,012	18	249,5	+1,0	λ Oph
20	1264	0,02	26	182	−28	
21	1556	0,094	31	184	−33	β Hya
22	1907 II	0,002	31	308	−60	
23	1834	0,081	Апрель 1	190	−10	δ Vir
24	1917 II	0,017	1	300	−9	
25	1918 II	0,116	9	268,5	+44,1	γ Dra
26	1580	0,202	15	331	+36	Lac
27	1861 I	0,002	21	271	+34	Lyr
28	1849 III	0,148	23	262	+36	
29	1864 III	0,152	24	277,5	+16	μ Her
30	1844 II	0,084	24	287	+5	δ Aql
31	1790 III	0,063	26	318,5	+19	Sge
32	1911 VI	0,024	26	319	+24	Vul
33	1748 II	0,122	27	255	+24	δ Her
34	837 Галлея	0,121	30	338	−15	γ-Aqr
35	1835 III Галлея	0,06	Май 4	337	0	γ-Aqr

№	Комета	Δ	Дата		α	δ	Поток
36	1698	0,104	Май	1	330	−8	
37	1006	0,090		10	342,5	+1,5	
38	1853 II	0,076		4	298	+14	η Sge
39	1916 III	0,022		6	274	−53	λ Tel
40	137 до н.э.	0,004		23	346	−21	
41	1863 II	0,054	Июнь	4	7	−45	
42	1954 XII	0,18		6	299	+20	
43	1930 VI	0,066		8	218,1	+45,3	η UMa
44	1618 II	0,095		12	274	+2	λ Aql
45	1897 I	0,052		19	350,5	+18	α Peg
46	1910 I	0,136		21	313,6	−7,7	ε Cap
47	1864 II	0,015		22	9	+5	
48	1850 I	0,065		27	311,5	+60,5	α Cep
49	1822 IV	0,128		27	348	+30	β Peg
50	1898 X	0,043		29	15,5	+29	β And
51	1937 VI Энке	0,179		30	85	+12	
52	1909 II	0,039	Июль	1	208,5	+55,5	Boo
53	1822 III	0,087		2	342,0	+14,5	ξ Peg
54	1770 I	0,02	Июль	6	275	−21	ρ Sgr
			Август	8	305	−17	
55	1908 III	0,067	Июль	6	6,5	+27,5	α And
56	1889 IV	0,039		10	66	−51	
57	1886 III	0,070		12	18	−41	γ Phe
58	1926 VII	0,134		12	325,3	+40,9	σ Cyg
59	1933 IV	0,012		14	13,9	+10,4	η Psc
60	1770 II	0,093		14	349	+11	α Peg
		0,062		20	354	+14	
61	1919 V	0,102		25	271,5	+62,3	ξ Dra
62	1946 II	0,042		25	26	+4	α Psc
63	1764	0,132		26	51	+45	β Per
64	1939 III	0,026	Август	4	19	−12	η Cet
65	1936 II	0,173		7	34,4	+81	Cam
66	1737 II	0,017		8	125,5	+80	UMi
67	568	0,064		9	264	−36	γ Sco
		0,02	Июль	28	258	−29	
68	1925 II	0,215	Август	11	46	−34	θ Eri
69	1862 III	0,009		12	44	+57	
70	1870 I	0,022		16	28	+48	Per
71	1852 II	0,005		12	41	−13,5	σ Cet
72	1862 II	0,017		13	45	+12	δ Ari
		0,027		21	49	+13	
73	1827 II	0,184		13	45,5	−8,5	

№	Комета	Δ	Дата	α	δ	Поток
74	1925 XII	0,052	Август 14	62,5	+40,2	δ Per
75	1457 II	0,136	15	303	−3	θ Aql
76	1780 II	0,172	18	1	+35,5	σ And
77	1871 IV	0,061	22	5,5	+45	π Cas
78	1900 II	0,016	22	66,5	−54,5	
79	1499	0,016	26	316	−64,5	
80	1911 II	0,005	Сентябрь 1	89	+40	β Aur
81	1907 IV	0,069	12	348	+3	γ Psc
82	1854 III	0,018	13	53,5	−16	γ Eri
83	1790 I	0,053	18	111	+39	ψ Aur
84	1893 III	0,116	19	66	+11	λ Tau
		0,207	2	52	+8	
85	1766 II	0,14	23	3	+9	ω Psc
86	1763	0,028	23	44	−23	τ^8 Eri
87	961	0,063	Октябрь 3	63,7	−13,6	γ Eri
88	1926 VI	0,004	10	262	+54	Dra
89	1757	0,088	10	21	+18	η Psc
90	1723	0,066	11	113	−8	δ Mon
91	1850 II	0,156	14	11	+46	β And
92	1893 IV	0,025	16	271	−35	
93	1580	0,194	18	62	−23	γ Eri
94	1779	0,022	22	39,5	−28,5	
95	1739	0,078	24	160	+38,5	μ UMa
96	1910 II Галлея	0,155	24	96	+15	Ori
97	1906 V	0,020	25	264	−34	
98	1948 IV	0,078	27	45,0	+28,5	ε Ari
99	1132	0,047	27	168	+46	
100	1849 I	0,026	31	131	+77	
101	1937 VI Энке	0,199	Ноябрь 4	56	+8	
102	1366	0,003	10	149,3	+31	
103	1873 IV	0,183	15	160,0	+61,5	α UMa
104	1866 I	0,007	15	150	+23	Leo
105	1743 I	0,025	17	24	+5	
106	1944 I	0,037	20	132	−8	τ Hya
107	1852 III	0,111	27	24,5	+43	And
108	1702	0,061	Декабрь 2	57	+26	η Tau
109	1798 II	0,129	4	158,5	+34	LMi
110	1884 I	0,188	8	189,5	+66,5	χ Dra
111	1954 VII	0,12	7	198	+68	
112	1881 V	0,034	16	276	−35	
113	1939 X	0,091	22	230	+76	β UMi
114	1680	0,041	28	131,5	+21,5	δ Cnc

Таблица 10

Основные радианты телескопических метеоров

Исследование телеметеоров проводилось достаточно активно лишь в СССР. В первой части настоящего каталога приведены радианты, полученные за последние 30—40 лет. Их существование неоднократно подтверждалось опытными наблюдателями. Во второй части указаны радианты телеметеоров некоторых больших метеорных потоков. Известно, что многие радианты телеметеоров тесно связаны с радиантами не только больших, но и малых метеорных потоков, хотя, несомненно, существуют и радианты собственно телескопических метеоров. Но их известно еще не так уж много. Каталог включает лишь основные радианты, которые с большой достоверностью можно наблюдать в соответствии с означенной в каталоге датой и эпохой эклиптики. Графы первой части каталога не нуждаются в особом пояснении. Укажем лишь, что в графе «Дата» в некоторых случаях вместо часов и минут даются доли дня или интервал в сутках, в течение которого метеоры наблюдались, а в графе «Яркость» — средняя яркость телеметеоров, входящих в данный радиант. Цвет телеметеоров не приводится, поскольку оценки цвета для столь слабых объектов весьма субъективны.

Во второй части каталога даны эфемериды двух больших метеорных потоков — Персеид и Орионид — на основании полученных в Душанбе радиантов телеметеоров этих потоков.

Желательны перенаблюдение радиантов, уточнение координат и обнаружение новых радиантов телеметеоров, расположенных в непосредственной близости от наблюдаемых областей звездного неба.

I. Радианты телеметеоров некоторых потоков

№ п/п	Дата (год, месяц, число, час, мин. всемирн. вр.)	Радиант		Эпоха эклиптики	Яркости метеоров, входящих в радиант	Число метеоров, входящих в радиант	Примечание
		α	δ				
1	1941 VIII $28^d20^h08^m$	35° 00′	+87° 45′	1855,0	$8^m,0-10^m,0$	5	Поляриды наблюдались с 15 по 19/XII 1941 г.
2	XII 15 14 41	49 30	+87 18	1855,0	7,0—11,0	8	
3	1942 VI 7 17 22	310 30	+88 11	1855,0	6,0—9,3	7	
4	8 18 20	330 00	+89 15	1855,0	7,5—10,0	5	
5	VII 14 20 01	345 36	+87 30	1855,0	8,0—10,1	6	
6	VIII 11 12 46	27 44	+88 02	1855,0	7,5—10,0	5	
7	14 17 20	5 38	+87 51	1855,0	7,5—10,0	3	
8	1945 X 1 18 32	20 29	+88 08	1855,0	8,5—9,0	6	Радианты с 1 по 10 относятся к сложному телеметеорному комплексу потока. Полярид, который имеет как метеоры, так и телеметеоры *R* Эпика
9	1957 II 24 16 00	129 24	+84 42	1900,0	6,5—8,0	4	
10	23 16 00	45 00	+89 48	1900,0	2,5—4,4	5	
11	1921 VIII 12	40 00	+55 35	1855,0	5,5—9,5	9	
12	1941 VII 22 20 06	25 42	+50 54	1855,0	5,1—10,0	5	Персеиды

№ п/п	Дата (год, месяц, число, час, мин. всемирн. вр.)	Радиант		Эпоха эклиптики	Яркости метеоров, входящих в радиант	Число метеоров, входящих в радиант	Примечание
		α	δ				
13	1942 VIII $9^d20^h51^m$	48° 43′	+55° 38′	1855,0	$7^m,2-11^m,5$	4	
14	11 20 59	48 38	+56 25	1855,0	8,0—10,0	6	
15	18 21 12	56 51	+58 25	1855,0	8,5—10,5	4	
16	1947 VII 12 19 13	41 54	+54 59	1855,0	8,0	5	
17	VIII 17 20 33	38 21	+54 26	1855,0	7,8	4	
18	18 19 09	41 16	+54 53	1855,0	8,2	5	Радианты с № 11 по 20 относятся к потоку Персеид
19	19 20 01	41 36	+54 53	1855,0	7,9	7	
20	20 20 16	43 31	+56 21	1855,0	7,8	4	
21	1942 X 11 20 05	84 50	+14 42	1855,0	9,5—11,0	4	
22	14 21 51	88 27	+14 20	1855,0	9,5—12,0	5	
23	1942 X 16 22 28	90 05	+16 11	1855,0	8,0—12,2	5	Радианты с № 21 по 23 относятся к потоку Орионид
24	1942 XI 14,9	150 59	+22 10	1947,0	9,5	4	
25	1947 XI 17,9	152 14	+21 06	1947,0	8,1	6	Радианты с № 24 по 27 относятся к потоку Леонид
26	18,9	153 43	+20 59	1947,0	8,7	5	
27	1947 XI 19,9	153 15	+21 02	1947,0	8,2	6	
28	1953 IV 14 20 09	264 23	+31 18	1855,0	8,4	4	Поток Лирид
29	1942 VII 5 22 00	205 30	+53 56	1942,0	8,0—11,0	4	Боотиды
30	1944 VI 23 20 10	207 47	+54 36	1900,0	8,5	3	
31	1942 X 10 16 05	264 05	+56 48	1855,0	7,8—9,9	4	Дракониды
32	1942 XII 2 07 35	99 54	+32 23	1942,0	9,6—11,0	3	Геминиды
33	2 17 40	101 02	+32 00	1942,0	7,2—11,5	3	
34	1942 IX 18 17 00	345 30	+1 12	1855,0	7,8	4	Долговидимый поток метеоров и телеметеоров на небесном экваторе
35	15 16 57	347 15	+1 30	1855,0	8,0—10,5	3	
36	1939 IX 16,8	32 00	+42 40	1900,0	5,5—7	5	
37	1937 IX 3 19 30	335 19	−11 36	1855,0	10,1	3	Радианты с № 37 по 45 расположены неподалеку от σ Aqr, долговидимый поток метеоров и телеметеоров на южном небе
38	1937 IX 6 18 24	336 10	−11 48	1855,0	10,4	3	
39	8 20 00	335 42	−11 24	1855,0	10,9	3	
40	10 18 42	335 48	−11 30	1855,0	10,1	3	

Продолжение табл. 10

№ п/п	Дата (год, месяц, число, час, мин. всемирн. вр.)	Радиант		Эпоха эклиптики	Яркости метеоров, входящих в радиант	Число метеоров, входящих в радиант	Примечание
		α	δ				
41	1938 VIII $22^d18^h54^m$	335° 40′	−11° 48′	1855,0	$7^m,9$	5	
42	1940 IX 2 21 45	336 02	−11 45	1855,0	8,5—9,8	3	
43	1945 IX 3 18 19	336 41	−11 23	1855,0	5,0—11,0	4	
44	6 18 58	336 29	−11 43	1855,0	10,0—10,5	4	
45	8 18 30	335 50	−11 17	1855,0	7,5—13,0	6	
46	1938 V 22,76	228 18	−9 08	1900,0	8,3	7	Поток в Весах
47	IV 29,70	183 13	−5 21	1900,0	7,6	4	Поток телеметеоров в Деве
48	1947 VI 13 19 35	252 00	−19 12	1947,0	7,8—10,1	4	
49	1955 V 23 18 20	252 02	−18 58	1955,0	7,2—9,5	6	Радианты с № 48 по 50 потока Скорпионид
50	1955 VI 16 18 17	251 44	−18 50	1955,0	7,5—8,5	5	
51	1941 III 29 17 23	150 38	−10 45	1855,0	7,5	8	Поток λ Гидры
52	1957 V 4,0	335 24	−1 06	1900,0	3,0—5,5	3	Поток γ Володея
53	1942 IX 5 01 30	271 55	+67 25	1942,0	7,2—11,0	3	
54	1942 IX 11 01 10	271 17	+67 14	1942,0	6,2—12,0	4	С № 53 по 57 — телерадианты, наблюдающиеся в районе полюса эклиптики
55	01 55	274 26	+66 20	1942,0	7,5—11,0	6	
56	X 12 21 47	270 09	+67 04	1942,0	8,0—12,0	4	
57	14 18 01	275 02	+66 07	1942,0	7,0—10,5	3	
58	1937 X 9,82	31 37	+20 44	1900,0	7,4	5	
59	1939 VII 18,83	9 30	+60 09	1900,0	8,1	4	Радианты с № 59 по 65 относятся к потоку β-Кассиопеид
60	21,88	8 28	+60 15	1900,0	9,3	4	
61	22,89	8 39	+59 45	1900,0	9,1	3	
62	1947 VII 19—24	356 51	+57 33	1947,0	7,8—8,9	17	
63	21—28	355 02	+55 47	1947,0	7,4—8,1	10	
64	24,00	355 40	+56 25	1947,0	7,8	5	
65	21—28	354 18	+58 27	1947,0	7,6—8,0	13	
66	9—15	266 40	+2 43	1947,0	9,0—9,2	7	Радианты с № 66 по 69 относятся к области β Змееносца
67	13—18	266 30	+3 10	1947,0	8,5—9,2	6	
68	14,73	267 17	+5 28	1947,0	7,8—8,1	4	
69	10—18	265 55	+7 10	1947,0	6,8—8,6	8	

Продолжение табл. 10

II. Эфемериды метеорных потоков Персеид и Орионид по наблюдениям радиантов телеметеоров

А. Персеиды | *Б. Ориониды*

Дата 0^h всемирн. вр.	Радиант		Дата 0^h всемирн. вр.	Радиант	
	α 1900,0	δ 1900,0		α 1855,0	δ 1855,0
VII 25	24° 00′	+50° 00′	X 6	82° 26′	+15° 14′
30	30 30	53 00	11	86 54	15 14
VIII 4	37 00	55 42	16	91 23	15 14
9	43 36	57 36	21	95 50	15 14
14	50 30	59 00	26	100 19	15 14
19	57 12	60 12			

Таблица 11

Юлианский период

Число дней, протекших к нулевому числу каждого месяца с 1900 по 2000 г. Счет ведется от среднего гринвичского полудня.

Год	Январь 0	Февраль 0	Март 0	Апрель 0	Май 0	Июнь 0	Июль 0	Август 0	Сентябрь 0	Октябрь 0	Ноябрь 0	Декабрь 0
1900	2415 020	051	079	110	140	171	201	232	263	293	324	354
1901	385	416	444	475	505	536	566	597	628	658	689	719
1902	750	781	809	840	870	901	931	962	993	*023	*054	*084
1903	2416 115	146	174	205	235	266	296	327	358	388	419	449
1904	480	511	540	571	601	632	662	693	724	754	785	815
1905	846	877	905	936	966	997	*027	*058	*089	*119	*150	*180
1906	2417 211	242	270	301	331	362	392	423	454	484	515	545
1907	576	607	635	666	696	727	757	788	819	849	880	910
1908	941	972	*001	*032	*062	*093	*123	*154	*185	*215	*246	*276
1909	2418 307	338	366	397	427	458	488	519	550	580	611	641
1910	672	703	731	762	792	823	853	884	915	945	976	*006
1911	2419 037	068	096	127	157	188	218	249	280	310	341	371
1912	402	433	462	493	523	554	584	615	646	676	707	737
1913	768	799	827	858	888	919	949	980	*011	*041	*072	*102
1914	2420 133	164	192	223	253	284	314	345	376	406	437	467
1915	498	529	557	588	618	649	679	710	741	771	802	832
1916	863	894	923	954	984	*015	*045	*076	*107	*137	*168	*198
1917	2421 229	260	288	319	349	380	410	441	472	502	533	563
1918	594	625	653	684	714	745	775	806	837	867	898	928
1919	959	990	*018	*049	*079	*110	*140	*171	*202	*232	*263	*293
1920	2422 324	355	384	415	445	476	506	537	568	598	629	659
1921	690	721	749	780	810	841	871	902	933	963	994	*024
1922	2423 055	086	114	145	175	206	236	267	298	328	359	389
1923	420	451	479	510	540	571	601	632	663	693	724	754
1924	785	816	845	876	906	937	967	998	*029	*059	*090	*120
1925	2424 151	182	210	241	271	302	332	363	394	424	455	485
1926	516	547	575	606	636	667	697	728	759	789	820	850
1927	881	912	940	971	*001	*032	*062	*093	*124	*154	*185	*215
1928	2425 246	277	306	337	367	398	428	459	490	520	551	581
1929	612	643	671	702	732	763	793	824	855	885	916	946

Звездочка означает, что первые четыре цифры нужно взять из второго столбца следующей строки.

Год	Январь 0	Февраль 0	Март 0	Апрель 0	Май 0	Июнь 0	Июль 0	Август 0	Сентябрь 0	Октябрь 0	Ноябрь 0	Декабрь 0
1930	977	*008	*036	*067	*097	*128	*158	*189	*220	*250	*281	*311
1931	2426 342	373	401	432	462	493	523	554	585	615	646	676
1932	707	738	767	798	828	859	889	920	951	981	*012	*042
1933	2427 073	104	132	163	193	224	254	285	316	346	377	407
1934	438	469	497	528	558	589	619	650	681	711	742	772
1935	803	834	862	893	923	954	984	*015	*046	*076	*107	*137
1936	2428 168	199	228	259	289	320	350	381	412	442	473	503
1937	534	565	593	624	654	685	715	746	777	807	838	868
1938	899	930	958	989	*019	*050	*080	*111	*142	*172	*203	*233
1939	2429 264	295	323	354	384	415	445	476	507	537	568	598
1940	2429 629	660	689	720	750	781	811	842	873	903	934	964
1941	995	*026	*054	*085	*115	*146	*176	*207	*238	*268	*299	*329
1942	2430 360	391	419	450	480	511	541	572	603	633	664	694
1943	725	756	784	815	845	876	906	937	968	998	*029	*059
1944	2431 090	121	150	181	211	242	272	303	334	364	395	425
1945	456	487	515	546	576	607	637	668	699	729	760	790
1946	821	852	880	911	941	972	*002	*033	*064	*094	*125	*155
1947	2432 186	217	245	276	306	337	367	398	429	459	490	520
1948	551	582	611	642	672	703	733	764	795	825	856	886
1949	917	948	976	*007	*037	*068	*098	*129	*160	*190	*221	*251
1950	2433 282	313	341	372	402	433	463	494	525	555	586	616
1951	647	678	706	737	767	798	828	859	890	920	951	981
1952	2434 012	043	072	103	133	164	194	225	256	286	317	347
1953	378	409	437	468	498	529	559	590	621	651	682	712
1954	743	774	802	833	863	894	924	955	986	*016	*047	*077
1955	2435 108	139	167	198	228	259	289	320	351	381	412	442
1956	473	504	533	564	594	625	655	686	717	747	778	808
1957	839	870	898	929	959	990	*020	*051	*082	*112	*143	*173
1958	2436 204	235	263	294	324	355	385	416	447	477	508	538
1959	569	600	628	659	689	720	750	781	812	842	873	903
1960	934	965	994	*025	*055	*086	*116	*147	*178	*208	*239	*269
1961	2437 300	331	359	390	420	451	481	512	543	573	604	634
1962	665	696	724	755	785	816	846	877	908	938	969	999
1963	2438 030	061	089	120	150	181	211	242	273	303	334	364
1964	395	426	455	486	516	547	577	608	639	669	700	730
1965	761	792	820	851	881	912	942	973	*004	*034	*065	*095
1966	2439 126	157	185	216	246	277	307	338	369	399	430	460
1967	491	522	550	581	611	642	672	703	734	764	795	825
1968	856	887	916	947	977	*008	*038	*069	*100	*130	*161	*191
1969	2440 222	253	281	312	342	373	403	434	465	495	526	556
1970	587	618	646	677	707	738	768	799	830	860	891	921
1971	952	983	*011	*042	*072	*103	*133	*164	*195	*225	*256	*286
1972	2441 317	348	377	408	438	469	499	530	561	591	622	652
1973	683	714	742	773	803	834	864	895	926	956	987	*017
1974	2442 048	079	107	138	168	199	229	260	291	321	352	382
1975	413	444	472	503	533	564	594	625	656	686	717	747
1976	778	809	838	869	899	930	960	991	*022	*052	*083	*113
1977	2443 144	175	203	234	264	295	325	356	387	417	448	478
1978	509	540	568	599	629	660	690	721	752	782	813	843
1979	2443 874	905	933	964	994	*025	*055	*086	*117	*147	*178	*208

Год	Январь 0	Февраль 0	Март 0	Апрель 0	Май 0	Июнь 0	Июль 0	Август 0	Сентябрь 0	Октябрь 0	Ноябрь 0	Декабрь 0
1980	2444 239	270	299	330	360	391	421	452	483	513	544	574
1981	605	636	664	695	725	756	786	817	848	878	909	939
1982	970	001	029	060	090	121	151	182	213	243	274	304
1983	2445 335	366	394	425	455	486	516	547	578	608	639	669
1984	700	731	760	791	821	852	882	913	944	974	005	035
1985	2446 066	097	125	156	186	217	247	278	309	339	370	400
1986	431	462	490	521	551	582	612	643	674	704	735	765
1987	796	827	855	886	916	947	977	*008	*039	*069	*100	*130
1988	2447 161	192	221	252	282	313	343	374	405	435	466	496
1989	527	558	586	617	647	678	708	739	770	800	831	861
1990	892	923	951	982	*012	*043	*073	*104	*135	*165	*196	*226
1991	2448 257	288	316	347	377	408	438	469	500	530	561	591
1992	622	653	682	713	743	774	804	835	866	896	927	957
1993	988	*019	*047	*078	*108	*139	*169	*200	*231	*261	*292	*322
1994	2449 353	384	412	443	473	504	534	565	596	626	657	687
1995	718	749	777	808	838	869	899	930	961	991	*022	*052
1996	2450 083	114	143	174	204	235	265	296	327	357	388	418
1997	449	480	508	539	569	600	630	661	692	722	753	783
1998	814	845	873	904	934	965	995	*026	*057	*087	*118	*148
1999	2451 179	210	238	269	299	330	360	391	422	452	473	513
2000	2451 544	575	604	635	665	696	726	757	788	818	849	879

Таблица 12

Поправки звездного времени для разных долгот *)

(для приведения звездного времени в среднюю полночь в Гринвиче к звездному времени в среднюю полночь другой долготы)

Вост. долгота от Гринвича	Поправка	Вост. долгота от Гринвича	Поправка	Вост. долгота от Гринвича	Поправка
0^h00^m	$0^m0^s,00$	4^h00^m	$-0^m39^s,43$	8^h00^m	$-1^m18^s,85$
10	−0 1,64	10	−0 41,07	10	−1 20,50
20	−0 3,29	20	−0 42,71	20	−1 22,14
30	−0 4,93	30	−0 44,35	30	−1 23,78
40	−0 6,57	40	−0 46,00	40	−1 25,42
50	−0 8,21	50	−0 47,64	50	−1 27,07
1 00	−0 9,86	5 00	−0 49,28	9 00	−1 28,71
10	−0 11,50	10	−0 50,93	10	−1 30,35
20	−0 13,41	20	−0 52,57	20	−1 31,90
30	−0 14,79	30	−0 54,21	30	−1 33,64
40	−0 16,43	40	−0 55,85	40	−1 35,28
50	−0 18,07	50	−0 57,50	50	−1 36,92
2 00	−0 19,71	6 00	−0 59,14	10 00	−1 38,57
10	−0 21,36	10	−1 0,78	10	−1 40,21
20	−0 23,00	20	−1 2,42	20	−1 41,85
30	−0 24,64	30	−1 4,07	30	−1 43,49
40	−0 26,28	40	−1 5,71	40	−1 45,14
50	−0 27,93	50	−1 7,35	50	−1 46,61
3 00	−0 29,57	7 00	−1 9,00	11 00	−1 48,42
10	−0 31,21	10	−1 10,64	10	−1 50,06
20	−0 32,86	20	−1 12,28	20	−1 51,71
30	−0 34,50	30	−1 13,92	30	−1 53,35
40	−0 36,14	40	−1 15,57	40	−1 54,99
50	−0 37,78	50	−1 17,21	50	−1 56,64
4 00	−0 39,43	8 00	−1 18,85	12 00	−1 58,28

*) При западной долготе от Гринвича поправки берутся с обратным знаком.

Перевод часов, минут и секунд

	0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h		
0^m	0^d,000000	0^d,041667	0^d,083333	0^d,125000	0^d,166667	0^d,208333	0^s	0^d,000000
1	0,000694	0,042361	0,084028	0,125694	0,167361	0,209028	1	0,000012
2	0,001389	0,043056	0,084722	0,126389	0,168056	0,209722	2	0,000023
3	0,002083	0,043750	0,085417	0,127083	0,168750	0,210417	3	0,000035
4	0,002778	0,044444	0,086111	0,127778	0,169444	0,211111	4	0,000046
5	0,003472	0,045139	0,086806	0,128472	0,170139	0,211806	5	0,000058
6	0,004167	0,045833	0,087500	0,129167	0,170833	0,212500	6	0,000069
7	0,004861	0,046528	0,088194	0,129861	0,171528	0,213194	7	0,000081
8	0,005556	0,047222	0,088889	0,130556	0,172222	0,213889	8	0,000093
9	0,006250	0,047917	0,089583	0,131250	0,172917	0,214583	9	0,000104
10	0,006944	0,048611	0,090276	0,131944	0,173611	0,215278	10	0,000116
11	0,007639	0,049306	0,090972	0,132639	0,174306	0,215972	11	0,000127
12	0,008333	0,050000	0,091667	0,133333	0,175000	0,216667	12	0,000139
13	0,009028	0,050694	0,092361	0,134028	0,175694	0,217361	13	0,000150
14	0,009722	0,051389	0,093056	0,134722	0,176389	0,218056	14	0,000162
15	0,010417	0,052083	0,093750	0,135417	0,177083	0,218750	15	0,000174
16	0,011111	0,052778	0,094444	0,136111	0,177778	0,219444	16	0,000185
17	0,011806	0,053472	0,095139	0,136806	0,178472	0,220139	17	0,000197
18	0,012500	0,054167	0,095833	0,137500	0,179167	0,220833	18	0,000208
19	0,013194	0,054861	0,096528	0,138194	0,179861	0,221528	19	0,000220
20	0,013889	0,055556	0,097222	0,138889	0,180566	0,222222	20	0,000231
21	0,014583	0,056250	0,097917	0,139583	0,181250	0,222917	21	0,000243
22	0,015278	0,056944	0,098611	0,140278	0,181944	0,223611	22	0,000255
23	0,015972	0,057639	0,099306	0,140972	0,182639	0,224306	23	0,000266
24	0,016667	0,058333	0,100000	0,141667	0,183333	0,225000	24	0,000278
25	0,017361	0,059028	0,100694	0,142361	0,184028	0,225694	25	0,000289
26	0,018056	0,059722	0,101389	0,143056	0,184722	0,226389	26	0,000301
27	0,018750	0,060417	0,102083	0,143750	0,185417	0,227083	27	0,000313
28	0,019444	0,061111	0,102778	0,144444	0,186111	0,227778	28	0,000324
29	0,020139	0,061806	0,103472	0,145139	0,186806	0,228472	29	0,000366
30	0,020833	0,062500	0,104167	0,145833	0,187500	0,229167	30	0,000347
31	0,021528	0,063194	0,104861	0,146528	0,188194	0,229861	31	0,000359
32	0,022222	0,063889	0,105556	0,147222	0,188889	0,230556	32	0,000370
33	0,022917	0,064583	0,106250	0,147917	0,189583	0,231250	33	0,000382
34	0,023611	0,065278	0,106944	0,148611	0,190278	0,231944	34	0,000394
35	0,024306	0,065972	0,107639	0,149306	0,190972	0,232639	35	0,000405
36	0,025000	0,066667	0,108333	0,150000	0,191667	0,233333	36	0,000417
37	0,025694	0,067361	0,109028	0,150694	0,192361	0,234028	37	0,000428
38	0,026389	0,068056	0,109722	0,151389	0,193056	0,234722	38	0,000440
39	0,027083	0,068750	0,110417	0,152083	0,193750	0,235417	39	0,000451
40	0,027778	0,069444	0,111111	0,152778	0,194444	0,236111	40	0,000463
41	0,028472	0,070139	0,111806	0,153472	0,195139	0,236806	41	0,000475
42	0,029167	0,070833	0,112500	0,154167	0,195833	0,237500	42	0,000486
43	0,029861	0,071528	0,113194	0,154861	0,196528	0,238194	43	0,000498
44	0,030556	0,072222	0,113889	0,155556	0,197222	0,238889	44	0,000509
45	0,031250	0,072917	0,114583	0,156250	0,197917	0,239583	45	0,000521
46	0,031944	0,073611	0,115278	0,156944	0,198611	0,240278	46	0,000532
47	0,032639	0,074306	0,115972	0,157639	0,199306	0,240972	47	0,000544
48	0,033333	0,075000	0,116667	0,158333	0,200000	0,241667	48	0,000556
49	0,034028	0,075694	0,117361	0,159028	0,200694	0,242361	49	0,000567
50	0,034722	0,076389	0,118056	0,159722	0,201389	0,244056	50	0,000579
51	0,035417	0,077083	0,118750	0,160417	0,202083	0,243750	51	0,000590
52	0,036111	0,077778	0,119444	0,161111	0,202778	0,244444	52	0,000602
53	0,036806	0,078472	0,120139	0,161806	0,203472	0,245139	53	0,000613
54	0,037500	0,079167	0,120833	0,162500	0,204167	0,245833	54	0,000625
55	0,038194	0,079861	0,121528	0,163194	0,204861	0,246528	55	0,000637
56	0,038889	0,080556	0,122222	0,163889	0,205556	0,247222	56	0,000648
57	0,039583	0,081250	0,122917	0,164583	0,206250	0,247917	57	0,000660
58	0,040278	0,081944	0,123611	0,165278	0,206944	0,248611	58	0,000671
59	0,040972	0,082639	0,124306	0,165972	0,207639	0,249306	59	0,000683
60	0,041667	0,083333	0,125000	0,166667	0,208333	0,250000	60	0,000694

Таблица 13

времени в доли суток

	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h		
0^m	0^d,250000	0^d,291667	0^d,333333	0^d,375000	0^d,416667	0^d,458333	0^s	0^d,000000
1	0,250694	0,292361	0,334028	0,375694	0,417361	0,459028	1	0,000012
2	0,251389	0,293056	0,334722	0,376389	0,418056	0,459722	2	0,000023
3	0,252083	0,293750	0,335417	0,377083	0,418750	0,460417	3	0,000035
4	0,252778	0,294444	0,336111	0,377778	0,419444	0,461111	4	0,000046
5	0,253472	0,295139	0,336806	0,378472	0,420139	0,461806	5	0,000058
6	0,254167	0,295833	0,337500	0,379167	0,420833	0,462500	6	0,000069
7	0,254861	0,296528	0,338194	0,379861	0,421528	0,463194	7	0,000081
8	0,255556	0,297222	0,338889	0,380556	0,422222	0,463889	8	0,000093
9	0,256250	0,297917	0,339583	0,381250	0,422917	0,464583	9	0,000104
10	0,256944	0,298611	0,340278	0,381944	0,423611	0,465278	10	0,000116
11	0,257639	0,299306	0,340972	0,382639	0,424306	0,465972	11	0,000127
12	0,258333	0,300000	0,341667	0,383333	0,425000	0,466667	12	0,000139
13	0,259028	0,300694	0,342361	0,384028	0,425694	0,467361	13	0,000150
14	0,259722	0,301389	0,343056	0,384722	0,426389	0,468056	14	0,000162
15	0,260417	0,302083	0,343750	0,385417	0,427083	0,468750	15	0,000174
16	0,261111	0,302778	0,344444	0,386111	0,427778	0,469444	16	0,000185
17	0,261806	0,303472	0,345139	0,386806	0,428472	0,470139	17	0,000197
18	0,262500	0,304167	0,345833	0,387500	0,429167	0,470833	18	0,000208
19	0,263194	0,304861	0,346528	0,388194	0,429861	0,471528	19	0,000220
20	0,263389	0,305556	0,347222	0,388889	0,430556	0,472222	20	0,000231
21	0,264583	0,306250	0,347917	0,389583	0,431250	0,472917	21	0,000243
22	0,265278	0,306944	0,348611	0,390278	0,431944	0,473611	22	0,000255
23	0,265972	0,307639	0,349306	0,390972	0,432639	0,474306	23	0,000266
24	0,266667	0,308333	0,350000	0,391667	0,433333	0,475000	24	0,000278
25	0,267361	0,309028	0,350694	0,392361	0,434028	0,475694	25	0,000289
26	0,268056	0,309722	0,351389	0,393056	0,434722	0,476389	26	0,000301
27	0,268750	0,310417	0,352083	0,393750	0,435417	0,477083	27	0,000313
28	0,269444	0,311111	0,352778	0,394444	0,436111	0,477778	28	0,000324
29	0,270139	0,311806	0,353472	0,395139	0,436806	0,478472	29	0,000336
30	0,270833	0,312500	0,354167	0,395833	0,437500	0,479167	30	0,000347
31	0,271528	0,313194	0,354861	0,396528	0,438194	0,479861	31	0,000359
32	0,272222	0,313889	0,355556	0,397222	0,438889	0,480556	32	0,000370
33	0,272917	0,314583	0,356250	0,397917	0,439593	0,481250	33	0,000382
34	0,273611	0,315278	0,356944	0,398611	0,440278	0,481944	34	0,000394
35	0,274306	0,315972	0,357639	0,399306	0,440972	0,482639	35	0,000405
36	0,275000	0,316667	0,358333	0,400000	0,441667	0,483333	36	0,000417
37	0,275694	0,317361	0,355028	0,400694	0,442361	0,484028	37	0,000428
38	0,276389	0,318056	0,359722	0,401389	0,443056	0,484722	38	0,000440
39	0,277083	0,318750	0,360417	0,402083	0,443750	0,485417	39	0,000451
40	0,277778	0,319444	0,361111	0,402778	0,444444	0,486111	40	0,000463
41	0,278472	0,320139	0,361806	0,403472	0,445139	0,486806	41	0,000475
42	0,279167	0,320833	0,362500	0,404167	0,445833	0,487500	42	0,000486
43	0,279861	0,321528	0,363194	0,404861	0,446528	0,488194	43	0,000498
44	0,280556	0,322222	0,363889	0,405556	0,447222	0,488889	44	0,000509
45	0,281250	0,322917	0,364583	0,406250	0,447917	0,489583	45	0,000521
46	0,281944	0,323611	0,365278	0,406944	0,448611	0,490278	46	0,000532
47	0,282639	0,324306	0,365972	0,407639	0,449306	0,490972	47	0,000544
48	0,283333	0,325000	0,366667	0,408333	0,450000	0,491667	48	0,000556
49	0,284029	0,325694	0,367361	0,409028	0,450694	0,492361	49	0,000567
50	0,284722	0,326389	0,368056	0,409722	0,451386	0,493056	50	0,000579
51	0,285417	0,327083	0,368750	0,410417	0,452083	0,498750	51	0,000590
52	0,286111	0,327778	0,369444	0,411111	0,452778	0,494444	52	0,000602
53	0,286806	0,328472	0,370139	0,411806	0,453472	0,495139	53	0,000613
54	0,287500	0,329167	0,370833	0,412500	0,454167	0,495833	54	0,000625
55	0,288194	0,329861	0,371528	0,413194	0,454861	0,496528	55	0,000637
56	0,288889	0,330556	0,372222	0,413889	0,455556	0,497222	56	0,000648
57	0,289583	0,331250	0,372917	0,414583	0,456250	0,497917	57	0,000660
58	0,290279	0,331944	0,373611	0,415278	0,456944	0,498611	58	0,000671
59	0,290972	0,332639	0,374306	0,415972	0,457639	0,499306	59	0,000688
60	0,291667	0,333333	0,375000	0,416667	0,458333	0,500000	60	0,000694

Таблица 14а

Перевод градусной меры углов в часовую

Градусы				Минуты дуги				Секунды дуги				Десятые доли секунды дуги	
1°	$0^h\ 4^m$	120°	$8^h\ 0^m$	1′	$0^m\ 4^s$	31′	$2^m\ 4^s$	1″	$0^s,067$	31″	$2^s,067$	0″,1	$0^s,007$
2	0 8	130	8 40	2	0 8	32	2 8	2	0,133	32	2,133	0,2	0,013
3	0 12	140	9 20	3	0 12	33	2 12	3	0,200	33	2,200	0,3	0,020
4	0 16	150	10 0	4	0 16	34	2 16	4	0,267	34	2,267	0,4	0,027
5	0 20	160	10 40	5	0 20	35	2 20	5	0,333	35	2,333	0,5	0,033
6	0 24	170	11 20	6	0 24	36	2 24	6	0,400	36	2,400	0,6	0,040
7	0 28	180	12 0	7	0 28	37	2 28	7	0,467	37	2,467	0,7	0,047
8	0 32	190	12 40	8	0 32	38	2 32	8	0,533	38	2,533	0,8	0,053
9	0 36	200	13 20	9	0 36	39	2 36	9	0,600	39	2,600	0,9	0,060
10	0 40	210	14 0	10	0 40	40	2 40	10	0,667	40	2,667	1,0	0,067
11	0 44	220	14 40	11	0 44	41	2 44	11	0,733	41	2,733		
12	0 48	230	15 20	12	0 48	42	2 48	12	0,800	42	2,800		
13	0 52	240	16 0	13	0 52	43	2 52	13	0,867	43	2,867		
14	0 56	250	16 40	14	0 56	44	2 56	14	0,933	44	2,933		
15	1 0	260	17 20	15	1 0	45	3 0	15	1,000	45	3,000		
16	1 4	270	18 0	16	1 4	46	3 4	16	1,067	46	3,067		
17	1 8	280	18 40	17	1 8	47	3 8	17	1,133	47	3,133		
18	1 12	290	19 20	18	1 12	48	3 12	18	1,200	48	3,200		
19	1 16	300	20 0	19	1 16	49	3 16	19	1,267	49	3,267		
		310	20 40	20	1 20	50	3 20	20	1,333	50	3,333		
20	1 20	320	21 20	21	1 24	51	3 24	21	1,400	51	3,400		
30	2 0	330	22 0	22	1 28	52	3 28	22	1,467	52	3,467		
40	2 40	340	22 40	23	1 32	53	3 32	23	1,533	53	3,533		
50	3 20	350	23 20	24	1 36	54	3 36	24	1,600	54	3,600		
60	4 0	360	24 0	25	1 40	55	3 40	25	1,667	55	3,667		
70	4 40			26	1 44	56	3 44	26	1,733	56	3,733		
80	5 20			27	1 48	57	3 48	27	1,800	57	3,800		
90	6 0			28	1 52	58	3 52	28	1,867	58	3,867		
100	6 40			29	1 56	59	3 56	29	1,933	59	3,933		
110	7 20			30	2 0	60	4 0	30	2,000	60	4,000		

Перевод часовой меры углов в градусную

Часы		Минуты				Секунды				Сотые доли секунд							
1^h	15°	1^m	0° 15′	31^m	7° 45′	1^s	0′ 15″	31^s	7′ 45″	$0^s,01$	0″,15	$0^s,26$	3″,90	$0^s,51$	7″,65	$0^s,76$	11″,40
2	30	2	0 30	32	8 0	2	0 30	32	8 0	0,02	0,30	0,27	4,05	0,52	7,80	0,77	11,55
3	45	3	0 45	33	8 15	3	0 45	33	8 15	0,03	0,45	0,28	4,20	0,53	7,95	0,78	11,70
4	60	4	1 0	34	8 30	4	1 0	34	8 30	0,04	0,60	0,29	4,35	0,54	8,10	0,79	11,85
5	75	5	1 15	35	8 45	5	1 15	35	8 45	0,05	0,75	0,30	4,50	0,55	8,25	0,80	12,00
6	90	6	1 30	36	9 0	6	1 30	36	9 0	0,06	0,90	0,31	4,65	0,56	8,40	0,81	12,15
7	105	7	1 45	37	9 15	7	1 45	37	9 15	0,07	1,05	0,32	4,80	0,57	8,55	0,82	12,30
8	120	8	2 0	38	9 30	8	2 0	38	9 30	0,08	1,20	0,33	4,95	0,58	8,70	0,83	12,45
9	135	9	2 15	39	9 45	9	2 15	39	9 45	0,09	1,35	0,34	5,10	0,59	8,85	0,84	12,60
10	150	10	2 30	40	10 0	10	2 30	40	10 0	0,10	1,50	0,35	5,25	0,60	9,00	0,85	12,75
11	165	11	2 45	41	10 15	11	2 45	41	10 15	0,11	1,65	0,36	5,40	0,61	9,15	0,86	12,90
12	180	12	3 0	42	10 30	12	3 0	42	10 30	0,12	1,80	0,37	5,55	0,62	9,30	0,87	13,05
13	195	13	3 15	43	10 45	13	3 15	43	10 45	0,13	1,95	0,38	5,70	0,63	9,45	0,88	13,20
14	210	14	3 30	44	11 0	14	3 30	44	11 0	0,14	2,10	0,39	5,85	0,64	9,60	0,89	13,35
15	225	15	3 45	45	11 15	15	3 45	45	11 15	0,15	2,25	0,40	6,00	0,65	9,75	0,90	13,50
16	240	16	4 0	46	11 30	16	4 0	46	11 30	0,16	2,40	0,41	6,15	0,66	9,90	0,91	13,65
17	255	17	4 15	47	11 45	17	4 15	47	11 45	0,17	2,55	0,42	6,30	0,67	10,05	0,92	13,80
18	270	18	4 30	48	12 0	18	4 30	48	12 0	0,18	2,70	0,43	6,45	0,68	10,20	0,93	13,95
19	285	19	4 45	49	12 15	19	4 45	49	12 15	0,19	2,85	0,44	6,60	0,69	10,35	0,94	14,10
20	300	20	5 0	50	12 30	20	5 0	50	12 30	0,20	3,00	0,45	6,75	0,70	10,50	0,95	14,25
21	315	21	5 15	51	12 45	21	5 15	51	12 45	0,21	3,15	0,46	6,90	0,71	10,65	0,96	14,40
22	330	22	5 30	52	13 0	22	5 30	52	13 0	0,22	3,30	0,47	7,05	0,72	10,80	0,97	14,55
23	345	23	5 45	53	13 15	23	5 45	53	13 15	0,23	3,45	0,48	7,20	0,73	10,95	0,98	14,70
24	360	24	6 0	54	13 30	24	6 0	54	13 30	0,24	3,60	0,49	7,35	0,74	11,10	0,99	14,85
		25	6 15	55	13 45	25	6 15	55	13 45	0,25	3,75	0,50	7,50	0,75	11,25	1,00	15,00
		26	6 30	56	14 0	26	6 30	56	14 0								
		27	6 45	57	14 15	27	6 45	57	14 15								
		28	7 0	58	14 30	28	7 0	58	14 30								
		29	7 15	59	14 45	29	7 15	59	14 45								
		30	7 30	60	15 0	30	7 30	60	15 0								

Таблица 15

Перевод промежутков среднего времени в промежутки звездного *)

Сред. вр.	Поправка	Сред. вр.	Поправка	Сред. вр.	Поправка	Сред. вр.	Поправка	Сред. вр.	Поправка
h	m s	m	s	m	s	s	s	s	s
1	0 09,856	1	0,161	31	5,093	1	0,003	31	0,085
2	0 19,713	2	0,329	32	5,257	2	0,005	32	0,088
3	0 29,569	3	0,493	33	5,421	3	0,008	33	0,090
4	0 39,426	4	0,657	34	5,585	4	0,011	34	0,093
5	0 49,282	5	0,821	35	5,750	5	0,014	35	0,096
6	0 56,139	6	0,986	36	5,914	6	0,016	36	0,099
7	1 08,995	7	1,150	37	6,078	7	0,019	37	0,101
8	1 18,852	8	1,314	38	6,242	8	0,022	38	0,104
9	1 28,708	9	1,478	39	6,407	9	0,025	39	0,107
10	1 38,565	10	1,643	40	6,571	10	0,027	40	0,110
11	1 48,421	11	1,807	41	6,735	11	0,030	41	0,112
12	1 58,278	12	1,971	42	6,900	12	0,033	42	0,115
13	2 08,134	13	2,136	43	7,064	13	0,036	43	0,118
14	2 17,991	14	2,300	44	7,228	14	0,038	44	0,120
15	2 27,847	15	2,464	45	7,392	15	0,041	45	0,123
16	2 37,704	16	2,628	46	7,557	16	0,044	46	0,126
17	2 47,560	17	2,793	47	7,721	17	0,047	47	0,129
18	2 57,417	18	2,957	48	7,885	18	0,049	48	0,131
19	3 06,273	19	3,121	49	8,049	19	0,052	49	0,134
20	3 17,129	20	3,285	50	8,214	20	0,055	50	0,137
21	3 26,986	21	3,450	51	8,378	21	0,057	51	0,140
22	3 36,842	22	3,614	52	8,542	22	0,060	52	0,142
23	3 46,699	23	3,778	53	8,707	23	0,063	53	0,145
24	3 56,555	24	3,943	54	8,871	24	0,066	54	0,148
		25	4,107	55	9,035	25	0,068	55	0,151
		26	4,241	56	9,199	26	0,071	56	0,153
		27	4,435	57	9,364	27	0,074	57	0,156
		28	4,600	58	9,528	28	0,077	58	0,159
		29	4,764	59	9,692	29	0,079	59	0,162
		30	4,928	60	9,856	30	0,082	60	0,164

*) Поправка прибавляется к среднему времени.

Таблица 16

Перевод промежутков звездного времени в промежутки среднего *)

Поправки для перевода промежутков звездного времени в промежутки среднего.

Поправки вычитаются из соответствующих промежутков звездного времени. Окончательная поправка есть сумма поправок к табличным значениям. Например, для промежутка в $4^h32^m15^s$ звездного времени поправка равняется $39^s,318+5^s,242+0^s,041=$ $=44^s,601$.

Звездное	Поправка	Звездное	Поправка	Звездное	Поправка	Звездное	Поправка	Звездное	Поправка
1^h	$0^m09^s,830$	1^m	$0^s,164$	31^m	$5^s,079$	1^s	$0^s,003$	31^s	$0^s,085$
2	0 19,659	2	0,328	32	5,242	2	0,005	32	0,087
3	0 29,489	3	0,491	33	5,406	3	0,008	33	0,090
4	0 39,318	4	0,655	34	5,570	4	0,011	34	0,093
5	0 49,148	5	0,819	35	5,734	5	0,014	35	0,096
6	0 58,977	6	0,983	36	5,898	6	0,016	36	0,098
7	1 08,807	7	1,147	37	6,062	7	0,019	37	0,101
8	1 18,636	8	1,311	38	6,225	8	0,022	38	0,104
9	1 28,466	9	1,474	39	6,389	9	0,025	39	0,107
10	1 38,296	10	1,638	40	6,553	10	0,027	40	0,109
11	1 48,125	11	1,802	41	6,717	11	0,030	41	0,112
12	1 57,955	12	1,966	42	6,881	12	0,033	42	0,115
13	2 07,784	13	2,130	43	7,045	13	0,036	43	0,117
14	2 17,614	14	2,294	44	7,208	14	0,038	44	0,120
15	2 27,443	15	2,457	45	7,372	15	0,041	45	0,123
16	2 37,273	16	2,621	46	7,536	16	0,044	46	0,126
17	2 47,102	17	2,785	47	7,700	17	0,046	47	0,128
18	2 56,932	18	2,949	48	7,864	18	0,049	48	0,131
19	3 06,762	19	3,113	49	8,027	19	0,052	49	0,134
20	3 16,591	20	3,277	50	8,191	20	0,055	50	0,137
21	3 26,421	21	3,440	51	8,355	21	0,057	51	0,139
22	3 36,250	22	3,604	52	8,519	22	0,060	52	0,142
23	3 46,080	23	3,768	53	8,683	23	0,064	53	0,145
24	3 55,910	24	3,932	54	8,847	24	0,066	54	0,147
		25	4,096	55	9,010	25	0,068	55	0,150
		26	4,259	56	9,174	26	0,071	56	0,153
		27	4,423	57	9,338	27	0,074	57	0,156
		28	4,587	58	9,502	28	0,076	58	0,158
		29	4,751	59	9,666	29	0,079	59	0,161
		30	4,915	60	9,830	30	0,082	60	0,164

*) Поправка вычитается из звездного времени.

Таблица 17

Редукции ритмических сигналов

При приеме на средний хронометр					При приеме на звездный хронометр				
№ сигнала	I серия	II серия	III серия	№ сигнала	№ сигнала	I серия	II серия	III серия	№ сигнала
1	$2^m29^s,02$	$1^m29^s,02$	$0^m29^s,02$	60	1	$2^m29^s,42$	$1^m29^s,26$	$0^m29^s,10$	60
2	2 28,03	1 28,03	0 28,03	59	2	2 28,44	1 28,27	0 28,11	59
3	2 27,05	1 27,05	0 27,05	58	3	2 27,45	1 27,29	0 27,12	58
4	2 26,07	1 26,07	0 26,07	57	4	2 26,47	1 26,30	0 26,14	57
5	2 25,08	1 25,08	0 25,08	56	5	2 25,48	1 25,31	0 25,15	56
6	2 24,10	1 24,10	0 24,10	55	6	2 24,49	1 24,33	0 24,16	55
7	2 23,11	1 23,11	0 23,11	54	7	2 23,51	1 23,34	0 23,18	54
8	2 22,13	1 22,13	0 22,13	53	8	2 22,52	1 22,36	0 22,19	53
9	2 21,15	1 21,15	0 21,15	52	9	2 21,53	1 21,37	0 21,21	52
10	2 20,16	1 20,16	0 20,16	51	10	2 20,55	1 20,38	0 20,22	51
11	2 19,18	1 19,18	0 19,18	50	11	2 19,56	1 19,40	0 19,23	50
12	2 18,20	1 18,20	0 18,20	49	12	2 18,58	1 18,41	0 18,25	49
13	2 17,21	1 17,21	0 17,21	48	13	2 17,59	1 17,42	0 17,26	48
14	2 16,23	1 16,23	0 16,23	47	14	2 16,60	1 16,44	0 16,27	47
15	2 15,25	1 15,25	0 15,25	46	15	2 15,62	1 15,45	0 15,29	46
16	2 14,26	1 14,26	0 14,26	45	16	2 14,63	1 14,47	0 14,30	45
17	2 13,28	1 13,28	0 13,28	44	17	2 13,64	1 13,48	0 13,32	44
18	2 12,30	1 12,30	0 12,30	43	18	2 12,66	1 12,49	0 12,33	43
19	2 11,31	1 11,31	0 11,31	42	19	2 11,67	1 11,51	0 11,34	42
20	2 10,33	1 10,33	0 10,33	41	20	2 10,68	1 10,52	0 10,36	41
21	2 9,34	1 9,34	0 9,34	40	21	2 9,70	1 9,53	0 9,37	40
22	2 8,36	1 8,36	0 8,36	39	22	2 8,71	1 8,55	0 8,38	39
23	2 7,38	1 7,38	0 7,38	38	23	2 7,73	1 7,56	0 7,40	38
24	2 6,39	1 6,39	0 6,39	37	24	2 6,74	1 6,58	0 6,41	37
25	2 5,41	1 5,41	0 5,41	36	25	2 5,75	1 5,59	0 5,42	36
26	2 4,43	1 4,43	0 4,43	35	26	2 4,77	1 4,60	0 4,44	35
27	2 3,44	1 3,44	0 3,44	34	27	2 3,78	1 3,62	0 3,45	34
28	2 2,46	1 2,46	0 2,46	33	28	2 2,79	1 2,63	0 2,47	33
29	2 1,48	1 1,48	0 1,48	32	29	2 1,81	1 1,64	0 1,48	32
30	2 0,49	1 0,49	0 0,49	31	30	2 0,82	1 0,66	0 0,49	31
31	1 59,51	0 59,51		30	31	1 59,84	0 59,67		30
32	1 58,52	0 58,52		29	32	1 58,85	0 58,68		29
33	1 57,54	0 57,54		28	33	1 57,86	0 57,70		28
34	1 56,56	0 56,56		27	34	1 56,88	0 56,71		27
35	1 55,57	0 55,57		26	35	1 55,89	0 55,73		26
36	1 54,59	0 54,59		25	36	1 54,90	0 54,74		25
37	1 53,61	0 53,61		24	37	1 53,92	0 53,75		24
38	1 52,62	0 52,62		23	38	1 52,93	0 52,77		23
39	1 51,64	0 51,64		22	39	1 51,95	0 51,78		22
40	1 50,66	0 50,66		21	40	1 50,96	0 50,79		21
41	1 49,67	0 49,67		20	41	1 49,97	0 49,81		20
42	1 48,69	0 48,69		19	42	1 48,99	0 48,82		19
43	1 47,70	0 47,70		18	43	1 48,00	0 47,84		18
44	1 46,72	0 46,72		17	44	1 47,01	0 46,85		17
45	1 45,74	0 45,74		16	45	1 46,03	0 45,86		16
46	1 44,75	0 44,75		15	46	1 45,04	0 44,88		15
47	1 43,77	0 43,77		14	47	1 44,05	0 43,89		14
48	1 42,79	0 42,79		13	48	1 43,07	0 42,90		13
49	1 41,80	0 41,80		12	49	1 42,08	0 41,92		12
50	1 40,82	0 40,82		11	50	1 41,10	0 40,93		11
51	1 39,84	0 39,84		10	51	1 40,11	0 39,95		10
52	1 38,85	0 38,85		9	52	1 39,12	0 38,96		9
53	1 37,87	0 37,87		8	53	1 38,14	0 37,97		8
54	1 36,89	0 36,89		7	54	1 37,15	0 36,99		7
55	1 35,90	0 35,90		6	55	1 36,16	0 36,00		6
56	1 34,92	0 34,92		5	56	1 35,18	0 35,01		5
57	1 33,93	0 33,93		4	57	1 34,19	0 34,03		4
58	1 32,95	0 32,95		3	58	1 33,21	0 33,04		3
59	1 31,97	0 31,97		2	59	1 32,22	0 32,05		2
60	1 30,98	0 30,98		1	60	1 31,23	0 31,07		1
№ сигнала	V серия	IV серия	III серия	№ сигнала	№ сигнала	V серия	IV серия	III серия	№ сигнала

Таблица 18а

Средняя рефракция

(при температуре + 10° С и барометрическом давлении 760 *мм*. Поправки за температуру и давление см. ниже)

z	R	z	R	z	R	z	R	z	R
0°	0′ 00″	35°	0′ 41″	68° 0′	2′ 23″	79° 0′	4′ 51″	85° 0′	9′ 52″
1	1	36	42	20	26	20	5 00	10	10 8
2	2	37	44	40	28	40	9	20	10 26
3	3	38	45	69 0	30	80 0	5 19	30	10 45
4	4	39	47	20	33	10	5 24	40	11 4
5	0 05	40	0 49	40	36	20	5 29	50	11 24
6	6	41	51	70 0	2 38	30	5 35	86 0	11 45
7	7	42	52	20	41	40	5 41	10	12 7
8	8	43	54	40	44	50	5 46	20	12 30
9	9	44	56	71 0	47	81 0	5 52	30	12 55
10	0 10	45	0 58	20	50	10	5 59	40	13 22
11	11	46	1 00	40	53	20	6 5	50	13 51
12	12	47	2	72 0	2 57	30	6 12	87 0	14 22
13	13	48	5	20	3 0	40	6 19	10	14 55
14	14	49	7	40	4	50	6 26	20	15 31
15	0 16	50	1 9	73 0	8	82 0	6 33	30	16 9
16	17	51	12	20	12	10	6 41	40	16 49
17	18	52	14	40	16	20	6 49	50	17 32
18	19	53	17	74 0	3 20	30	6 57	88 0	18 18
19	20	54	20	20	24	40	7 5	10	19 8
20	0 21	55	1 23	40	29	50	7 14	20	20 2
21	22	56	26	75 0	33	83 0	7 24	30	21 1
22	24	57	29	20	38	10	7 33	40	22 7
23	25	58	33	40	43	20	7 43	50	23 19
24	26	59	37	76 0	3 49	30	7 54	89 0	24 37
25	0 27	60	1 41	20	54	40	8 5	10	26 3
26	28	61	45	40	4 0	50	8 16	20	27 36
27	30	62	49	77 0	4 6	84 0	8 28	30	29 18
28	31	63	54	20	13	10	8 40	40	31 9
29	32	64	1 59	40	19	20	8 53	50	33 11
30	0 34	65,0	2 4	78 0	4 27	30	9 7	90 0	35 24
31	35	65,5	7	20	34	40	9 21		
32	36	66,0	10	40	42	50	9 36		
33	38	66,5	13						
34	39	67,0	16						
35	0 41	67,5	20						
		68,0	2 23						

Таблица 18б

Поправки к средней рефракции за температуру *T* и барометрическое давление *B*

z \ T	−20°	−15°	−10°	−5°	0°	+5°	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°	z \ B	760	750	740	730	720
	+	+	+	+	+	+		−	−	−	−	−			−	−	−	−
0°	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0°	0″	0″	0″	0″	0″
10	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	10	0	0	0	0	1
20	3	2	2	1	1	0	0	0	1	1	2	2	20	0	0	0	1	1
30	4	3	3	2	1	1	0	1	1	2	3	3	30	0	0	1	1	2
40	6	4	4	3	2	1	0	1	2	3	4	4	40	0	1	2	2	3
45	7	5	5	3	2	1	0	1	2	3	4	4	45	0	1	2	3	4
50	8	6	5	4	3	1	0	1	3	4	5	5	50	0	1	2	3	4
55	10	8	6	4	3	2	0	2	3	4	6	6	55	0	1	2	4	5
60	12	10	7	5	4	2	0	2	4	5	7	8	60	0	1	3	4	5
65	15	12	10	7	5	2	0	2	4	6	8	10	65	0	2	3	5	6
70	19	15	12	9	6	3	0	3	5	8	10	12	70	0	2	4	6	8
71	20	16	12	9	6	3	0	3	5	8	10	13	71	0	2	4	6	8
72	21	17	13	10	6	4	0	3	6	9	11	14	72	0	2	5	7	9
73	23	18	14	11	7	4	0	4	6	9	12	15	73	0	3	5	7	9
74	24	19	15	12	7	4	0	4	7	10	13	16	74	0	3	5	8	10
75	26	20	16	13	8	4	0	4	7	11	14	17	75	0	3	6	8	11
76	28	22	17	14	8	4	0	4	8	12	15	18	76	0	3	6	9	12
77	30	24	19	15	9	4	0	4	8	13	16	20	77	0	4	6	9	13
78	33	26	21	16	10	5	0	5	9	14	18	22	78	0	4	7	10	14
79	36	29	23	17	11	5	0	5	10	15	20	24	79	0	4	8	11	15
80	40	32	25	19	12	6	0	6	11	16	22	27	80	0	4	8	12	17
	+	+	+	+	+	+		−	−	−	−	−			+	+	+	+
z / T	−20°	−15°	−10°	−5°	0°	+5°	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°	z / B	760	770	780	790	800

Пример
$z=76°\,23'$; $T=+22°{,}7$ C; $B=745{,}2$ мм

Средняя рефракция	3′ 55″
Поправка за *T*	−10
» за *B*	− 5
Рефракция	3′ 40″

Таблица 19

Поглощение света в земной атмосфере

(даны разности поглощений при z и в зените)

Видимое зенитное расстояние, z	Масса воздуха, $F(z)$	Разность поглощений в визуальных лучах	Разность поглощений в фотографических лучах	Видимое зенитное расстояние, z	Масса воздуха, $F(z)$	Разность поглощений в визуальных лучах	Разность поглощений в фотографических лучах
0°	1,00	$0^m,00$	$0^m,00$	80°,0	5,60	$0^m,90$	$1^m,81$
10	1,015	0,00	0,01	80,5	5,87	0,95	1,92
20	1,064	0,01	0,03	81,0	6,18	1,01	2,03
30	1,154	0,03	0,06	81,2	6,31	1,04	2,08
40	1,304	0,06	0,12	81,4	6,44	1,07	2,14
45	1,413	0,08	0,17	81,6	6,58	1,09	2,19
50	1,553	0,11	0,22	81,8	6,73	1,12	2,24
55	1,742	0,14	0,30	82,0	6,88	1,15	2,30
60	1,995	0,20	0,40	82,2	7,04	1,18	2,36
62	2,123	0,22	0,45	82,4	7,21	1,22	2,42
64	2,274	0,25	0,51	82,6	7,39	1,25	2,49
66	2,447	0,28	0,58	82,8	7,57	1,29	2,55
68	2,654	0,32	0,66	83,0	7,77	1,32	2,63
70	2,904	0,37	0,76	83,2	7,97	1,36	2,71
71	3,05	0,40	0,82	83,4	8,19	1,41	2,79
72	3,209	0,43	0,88	83,6	8,41	1,45	2,87
73	3,388	0,47	0,95	83,8	8,65	1,50	2,95
74	3,588	0,51	1,03	84,0	8,90	1,55	3,05
75	3,816	0,55	1,12	84,2	9,17	1,60	(3,15)
76	4,075	0,60	1,22	84,4	9,45	1,65	(3,24)
77	4,372	0,66	1,34	84,6	9,74	1,71	(3,36)
78	4,716	0,73	1,47	84,8	10,06	1,77	(3,48)
79	5,120	0,81	1,63	85,0	10,40	1,84	(3,62)

Примечание. Разность поглощений в данном направлении и в зените для визуальных лучей дана по Бемпораду и основана на коэффициенте прозрачности $p=0{,}835$. Данные приведены для $t=0°$ и давления 760 *мм*. При давлении B *мм* разность поглощений равна табличной, умноженной на B *мм*/760 *мм*.

Поглощение в фотографических лучах дано по Вирцу для тех же условий.

Для любого другого значения p поправка за поглощение вычисляется по формуле

$$\Delta m_z = \Delta m_0 - 2{,}5 \lg p\, [F(z) - 1],$$

где $F(z)$ — масса воздуха, проходимого лучом, выраженная в единицах массы воздуха в направлении на зенит, а $\Delta m_0 = 0^m{,}21$ для визуальных и $0^m{,}44$ для фотографических лучей.

Таблица 20а

Моменты восхода и захода Солнца по местному времени для широт от экватора до +70°

	0°		10°		15°		20°		25°		30°		35°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Январь														
1	06^h00^m	18^h07^m	06^h17^m	17^h50^m	06^h26^m	17^h41^m	06^h35^m	17^h32^m	06^h45^m	17^h22^m	06^h56^m	17^h11^m	07^h08^m	16^h59^m
6	06 02	18 10	06 19	17 53	06 28	17 44	06 37	17 35	06 46	17 26	06 57	17 15	07 09	17 03
11	06 04	18 12	06 20	17 56	06 29	17 47	06 38	17 39	06 47	17 29	06 57	17 19	07 09	17 08
16	06 06	18 14	06 22	17 58	06 30	17 50	06 38	17 42	06 47	17 33	06 57	17 23	07 08	17 13
21	06 08	18 15	06 22	18 01	06 30	17 53	06 38	17 45	06 46	17 37	06 55	17 28	07 06	17 17
26	06 09	18 16	06 23	18 03	06 30	17 56	06 37	17 48	06 45	17 41	06 54	17 32	07 03	17 23
31	06 10	18 17	06 23	18 05	06 29	17 58	06 36	17 51	06 43	17 44	06 51	17 36	07 00	17 28
Февраль														
5	06 11	18 18	06 22	18 06	06 28	18 00	06 34	17 54	06 41	17 48	06 48	17 41	06 56	17 33
10	06 11	18 18	06 21	18 08	06 27	18 02	06 32	17 57	06 38	17 51	06 44	17 45	06 51	17 38
15	06 11	18 18	06 20	18 09	06 25	18 04	06 29	17 59	06 35	17 54	06 40	17 49	06 46	17 43
20	06 10	18 17	06 18	18 10	06 22	18 06	06 26	18 02	06 31	17 57	06 36	17 53	06 41	17 47
25	06 10	18 17	06 16	18 10	06 20	18 07	06 23	18 04	06 27	18 00	06 81	17 56	06 35	17 52
Март														
2	06 09	18 16	06 14	18 11	06 17	18 08	06 19	18 05	06 22	18 03	06 25	18 00	06 29	17 56
7	06 08	18 15	06 12	18 11	06 14	18 09	06 15	18 07	06 18	18 05	06 20	18 03	06 22	18 01
12	06 07	18 13	06 09	18 11	06 10	18 10	06 11	18 09	06 13	18 08	06 14	18 06	06 15	18 05
17	06 05	18 12	06 06	18 11	06 07	18 11	06 07	18 10	06 03	18 10	06 08	18 10	06 08	18 09
22	06 04	18 10	06 03	18 11	06 03	18 11	06 03	18 12	06 02	18 12	06 02	18 13	06 01	18 13
27	06 02	18 09	06 00	18 11	05 59	18 12	05 58	18 13	05 57	18 14	05 56	18 16	05 54	18 17
Апрель														
1	06 01	18 07	05 57	18 11	05 56	18 12	05 54	18 14	05 52	18 16	05 50	18 19	05 47	18 21
6	05 59	18 06	05 55	18 11	05 52	18 13	05 50	18 16	05 47	18 18	05 44	18 22	05 40	18 25
11	05 58	18 04	05 52	18 10	05 49	18 14	05 46	18 17	05 42	18 21	05 38	18 25	05 34	18 29
16	05 57	18 03	05 49	18 11	05 46	18 14	05 42	18 19	05 37	18 23	05 33	18 28	05 27	18 33
21	05 55	18 02	05 47	18 11	05 42	18 15	05 38	18 20	05 33	18 25	05 27	18 31	05 21	18 37
26	05 54	18 01	05 45	18 11	05 40	18 16	05 34	18 22	05 28	18 28	05 22	18 34	05 15	18 41

Продолжение табл. 20а

	0°		10°		15°		20°		25°		30°		35°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Май														
1	05^h54^m	18^h00^m	05^h43^m	18^h12^m	05^h37^m	18^h17^m	05^h31^m	18^h23^m	05^h25^m	18^h30^m	05^h17^m	18^h37^m	05^h10^m	18^h45^m
6	05 53	18 00	05 41	18 12	05 35	18 19	05 28	18 25	05 21	18 33	05 13	18 40	05 04	18 49
11	05 53	18 00	05 40	18 13	05 33	18 20	05 26	18 27	05 18	18 35	05 09	18 44	05 00	18 53
16	05 53	18 00	05 39	18 14	05 31	18 21	05 24	18 29	05 15	18 38	05 06	18 47	04 56	18 57
21	05 53	18 00	05 38	18 15	05 30	18 23	05 22	15 31	05 13	18 40	05 03	18 50	04 52	19 01
26	05 53	18 01	05 38	18 16	05 29	18 25	05 21	18 33	05 11	18 43	05 01	18 53	04 50	19 05
31	05 54	18 01	05 38	18 18	05 29	18 26	05 20	18 35	05 10	18 45	05 00	18 56	04 48	19 08
Июнь														
5	05 54	18 01	05 38	18 19	05 29	18 28	05 20	18 37	05 10	18 47	04 59	18 58	04 46	19 11
10	05 56	18 03	05 38	18 20	05 29	18 29	05 20	18 39	05 10	18 49	04 58	19 01	04 45	19 13
15	05 57	18 04	05 39	18 22	05 30	18 31	05 20	18 40	05 10	18 51	04 58	19 02	04 45	19 15
20	05 58	18 05	05 40	18 23	05 31	18 32	05 21	18 42	05 11	18 52	04 59	19 04	04 46	19 17
25	05 59	18 06	05 41	18 24	05 32	18 33	05 22	18 43	05 12	18 53	05 00	19 05	04 47	19 18
30	06 00	18 07	05 43	18 25	05 33	18 34	05 24	18 43	05 13	18 54	05 02	19 05	04 49	19 18
Июль														
5	06 01	18 08	05 44	18 25	05 35	18 34	05 25	18 44	05 15	18 54	05 04	19 05	04 51	19 18
10	06 02	18 09	05 45	18 26	05 36	18 34	05 27	18 43	05 17	18 53	05 06	19 04	04 54	19 16
15	06 02	18 10	05 46	18 26	05 38	18 34	05 29	18 43	05 19	18 52	05 09	19 03	04 57	19 14
20	06 03	18 10	05 47	18 25	05 39	18 33	05 31	18 42	05 22	18 51	05 12	19 01	05 00	19 12
25	06 03	18 10	05 48	18 24	05 41	18 32	05 33	18 40	05 24	18 49	05 15	18 58	05 04	19 09
30	06 03	18 10	05 49	18 23	05 42	18 31	05 35	18 38	05 26	18 46	05 18	18 55	05 08	19 05
Август														
4	06 03	18 10	05 50	18 22	05 43	18 29	05 36	18 36	05 29	18 43	05 20	18 51	05 11	19 00
9	06 02	18 09	05 50	18 20	05 44	18 26	05 38	18 33	05 31	18 40	05 24	18 47	05 15	18 55
14	06 01	18 08	05 51	18 18	05 45	18 24	05 40	18 30	05 33	18 36	05 27	13 42	05 19	18 50
19	06 00	18 07	05 51	18 16	05 46	18 21	05 41	18 26	05 35	18 31	05 29	18 37	05 23	18 44
24	05 59	18 06	05 51	18 14	05 47	18 18	05 42	18 22	05 38	18 27	05 32	13 32	05 26	18 38
29	05 58	18 04	05 51	18 11	05 47	18 14	05 44	18 18	05 40	18 22	05 35	18 26	05 30	18 30

Продолжение табл. 20а

	°0		10°		15°		20°		25°		30°		35°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Сентябрь														
3	05^h56^m	18^h03^m	05^h51^m	18^h08^m	05^h48^m	18^h11^m	05^h45^m	18^h14^m	05^h42^m	18^h17^m	05^h38^m	18^h21^m	05^h34^m	18^h24^m
8	05 54	18 01	05 50	18 05	05 48	18 07	05 46	18 09	05 43	18 12	05 41	18 14	05 38	18 17
13	05 53	17 59	05 50	18 02	05 48	18 03	05 47	18 05	05 45	18 07	05 43	18 08	05 41	18 10
18	05 51	17 57	05 50	17 59	05 49	18 00	05 48	18 00	05 47	18 01	05 46	18 02	05 45	18 03
23	05 49	17 56	05 49	17 56	05 49	17 56	05 49	17 56	05 49	17 56	05 49	17 56	05 48	17 56
28	05 48	17 54	05 49	17 53	05 49	17 52	05 50	17 51	05 51	17 50	05 51	17 50	05 52	17 49
Октябрь														
3	05 46	17 52	05 48	17 50	05 50	17 48	05 51	17 47	05 53	17 45	05 54	17 43	05 56	17 42
8	05 44	17 51	05 48	17 47	05 51	17 45	05 53	17 42	05 55	17 40	05 57	17 38	06 00	17 35
13	05 43	17 50	05 48	17 44	05 51	17 41	05 54	17 38	05 57	17 35	06 00	17 32	06 04	17 28
18	05 42	17 49	05 49	17 42	05 52	17 38	05 56	17 35	06 00	17 31	06 04	17 26	06 08	17 22
23	05 41	17 48	05 49	17 40	05 53	17 35	05 58	17 31	06 02	17 26	06 07	17 21	06 13	17 16
28	05 41	17 47	05 50	17 38	05 55	17 33	06 00	17 28	06 05	17 22	06 11	17 17	06 17	17 09
Ноябрь														
2	05 40	17 47	05 51	17 36	05 56	17 31	06 02	17 25	06 08	17 19	06 14	17 02	06 12	17 05
7	05 40	17 47	05 52	17 35	05 58	17 29	06 04	17 23	06 11	17 16	06 18	17 09	06 26	17 01
12	05 41	17 48	05 53	17 35	06 00	17 28	06 07	17 21	06 14	17 14	06 22	17 06	06 31	16 57
17	05 41	17 49	05 55	17 35	06 02	17 27	06 10	17 20	06 18	17 12	06 27	17 03	06 36	16 54
22	05 43	17 50	05 57	17 35	06 05	17 27	06 13	17 19	06 21	17 11	06 31	17 01	06 41	16 51
27	05 44	17 51	06 00	17 36	06 08	17 28	06 16	17 19	06 25	17 10	06 35	17 00	06 46	16 49
Декабрь														
2	05 46	17 53	06 02	17 37	06 10	17 28	06 19	17 20	06 29	17 10	06 39	17 00	06 50	16 48
7	05 48	17 55	06 04	17 38	06 13	17 30	06 22	17 21	06 32	17 11	06 43	17 00	06 55	16 48
12	05 50	17 57	06 07	17 40	06 16	17 31	06 25	17 22	06 35	17 12	06 46	17 01	06 58	16 49
17	05 52	18 00	06 10	17 42	06 19	17 33	06 28	17 24	06 38	17 14	06 49	17 03	07 02	16 50
22	05 54	18 01	06 12	17 44	06 21	17 35	06 30	17 25	06 40	17 15	06 52	17 04	07 04	16 52
27	05 57	18 05	06 15	17 48	06 24	17 39	06 33	17 29	06 43	17 19	06 54	17 08	07 07	16 56
31	05 59	18 07	06 17	17 50	06 25	17 41	06 35	17 31	06 45	17 21	06 56	17 10	07 08	16 58

Продолжение табл. 20а

	40°		42°		44°		46°		48°		50°		52°		54°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Январь																
1	07^h22^m	16^h45^m	07^h28^m	16^h39^m	07^h35^m	16^h33^m	07^h42^m	16^h25^m	07^h50^m	16^h17^m	07^h59^m	16^h09^m	08^h08^m	15^h59^m	08^h19^m	15^h48^m
6	07 22	16 50	07 28	16 44	07 35	16 37	06 42	16 30	07 49	16 23	07 58	16 14	08 07	16 05	08 18	15 55
11	07 22	16 55	07 27	16 49	07 34	16 43	07 40	16 36	07 48	16 29	07 56	16 21	08 04	16 12	08 14	16 02
16	07 20	17 00	07 25	16 55	07 31	16 49	07 38	16 42	07 45	16 36	07 52	16 28	08 01	16 20	08 10	16 10
21	07 17	17 06	07 22	17 01	07 28	16 55	07 34	16 49	07 41	16 43	07 48	16 36	07 55	16 28	08 04	16 19
26	07 14	17 12	07 19	17 07	07 24	17 02	07 30	16 56	07 36	16 50	07 42	16 44	07 49	16 37	07 57	16 29
31	07 10	17 18	07 14	17 13	07 19	17 09	07 24	17 04	07 29	16 58	07 35	16 52	07 42	16 46	07 49	16 39
Февраль																
5	07 05	17 24	07 09	17 20	07 13	17 16	07 18	17 11	07 23	17 06	07 28	17 01	07 34	16 55	07 40	16 49
10	06 59	17 30	07 03	17 26	07 07	17 22	07 11	17 18	07 15	17 14	07 20	17 09	07 25	17 04	07 31	16 59
15	06 53	17 36	06 56	17 33	07 00	17 29	07 03	17 26	07 07	17 22	07 11	17 18	07 16	17 14	07 21	17 09
20	06 47	17 41	06 49	17 39	06 52	18 36	06 55	17 33	06 58	17 30	07 02	17 27	07 06	17 23	07 10	17 19
25	06 40	17 47	06 42	17 45	06 44	17 43	06 47	17 40	06 49	17 38	06 52	17 35	06 55	17 32	06 59	17 29
Март																
2	06 32	17 53	06 34	17 51	06 36	17 49	06 38	17 48	06 40	17 46	06 42	17 43	06 44	17 41	06 47	17 39
7	06 25	17 58	06 26	17 57	06 27	17 56	06 29	17 55	06 30	17 53	06 32	17 52	06 33	17 50	06 35	17 48
12	06 17	18 04	06 18	18 03	06 18	18 02	06 19	18 01	06 20	18 01	06 21	18 00	06 22	17 59	06 23	17 58
17	06 09	18 09	06 09	18 09	06 09	18 08	06 10	18 08	06 10	18 08	06 10	18 08	06 10	18 08	06 11	18 07
22	06 01	18 14	06 01	18 14	06 00	18 15	06 00	18 15	06 00	18 15	05 59	18 16	05 59	18 16	05 58	18 17
27	06 53	18 19	05 52	18 20	05 51	18 21	05 50	18 22	05 49	18 23	05 48	18 24	05 47	18 25	05 46	18 26
Апрель																
1	05 45	18 24	05 43	18 25	05 42	18 27	05 41	18 28	05 39	18 30	05 37	18 32	05 36	18 33	05 34	18 36
6	05 37	18 29	05 35	18 31	05 33	18 33	05 31	18 35	05 29	18 37	05 27	18 39	05 24	18 42	05 21	18 45
11	05 29	18 34	05 27	18 36	05 24	18 39	05 22	18 41	05 19	18 44	05 16	18 47	05 13	18 51	05 09	18 54
16	05 21	18 39	05 19	18 42	05 16	18 45	05 13	18 48	05 09	18 51	05 06	18 55	05 02	18 59	04 58	19 03
21	05 14	18 44	05 11	18 48	05 07	18 51	05 04	18 55	05 00	18 59	04 56	19 03	04 51	19 08	04 46	19 13
26	05 07	18 49	05 03	18 53	05 00	18 57	04 55	19 01	04 51	19 06	04 46	19 11	04 41	19 16	04 35	19 22

Продолжение табл. 20а

	40°		42°		44°		46°		48°		50°		52°		54°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Май																
1	05^h00^m	18^h54^m	04^h56^m	18^h58^m	04^h52^m	19^h03^m	04^h47^m	19^h08^m	04^h42^m	19^h13^m	04^h37^m	19^h18^m	04^h31^m	19^h24^m	04^h24^m	19^h31^m
6	04 54	18 59	04 50	19 04	04 45	19 09	04 40	19 14	04 34	19 20	04 28	19 26	04 22	19 33	04 14	19 40
11	04 49	19 04	04 44	19 09	04 39	19 15	04 33	19 20	04 27	19 27	04 20	19 33	04 13	19 41	04 05	19 49
16	04 44	19 09	04 39	19 14	04 33	19 20	04 27	19 26	04 20	19 33	04 13	19 40	04 05	19 49	03 56	19 58
21	04 40	19 14	04 34	19 19	04 28	19 25	04 22	19 32	04 15	19 39	04 07	19 47	03 58	19 56	03 48	20 06
26	04 36	19 18	04 31	19 24	04 24	19 30	04 17	19 37	04 10	19 45	04 01	19 53	03 52	20 03	03 42	20 13
31	04 34	19 22	04 28	19 28	04 21	19 35	04 14	19 42	04 06	19 50	03 57	19 59	03 47	20 09	03 36	20 20
Июнь																
5	04 32	19 25	04 25	19 32	04 13	19 39	04 11	19 46	04 03	19 55	03 53	20 04	03 43	20 14	03 32	20 26
10	04 31	19 28	04 24	19 35	04 17	19 42	04 09	19 50	04 01	19 58	03 51	20 08	03 41	20 18	03 29	20 31
15	04 30	19 30	04 24	19 37	04 16	19 44	04 09	19 52	04 00	20 01	03 50	20 11	03 39	20 22	03 27	20 34
20	04 31	19 32	04 24	19 39	04 17	19 46	04 09	19 54	04 00	20 03	03 50	20 13	03 39	20 23	03 27	20 36
25	04 32	19 33	04 25	19 40	04 18	19 47	04 10	19 55	04 01	20 04	03 52	20 13	03 41	20 24	03 28	20 36
30	04 34	19 33	04 27	19 40	04 20	19 47	04 12	19 55	04 04	20 03	03 54	20 13	03 43	20 24	03 31	20 36
Июль																
5	04 37	19 32	04 30	19 39	04 23	19 46	04 15	19 53	04 07	20 02	03 58	20 11	03 47	20 21	03 35	20 33
10	04 40	19 30	04 33	19 37	04 27	19 44	04 19	19 51	04 11	19 59	04 02	20 08	03 52	20 18	03 40	20 29
15	04 43	19 28	04 37	19 34	04 31	19 41	04 24	19 48	04 16	19 56	04 07	20 04	03 57	20 14	03 47	20 24
20	04 47	19 25	04 41	19 31	04 35	19 37	04 28	19 44	04 21	19 51	04 13	19 59	04 04	20 08	03 54	20 18
25	04 52	19 21	04 46	19 26	04 40	19 32	04 34	19 38	04 27	19 45	04 19	19 53	04 11	20 01	04 01	20 11
30	04 56	19 16	04 51	19 21	04 46	19 27	04 40	19 32	04 33	19 39	04 26	19 46	04 18	19 54	04 09	20 02
Август																
4	05 01	19 11	04 56	19 15	04 51	19 20	04 46	19 26	04 40	19 32	04 33	19 38	04 26	19 45	04 18	19 53
9	05 05	19 05	05 01	19 09	04 57	19 14	04 52	19 19	04 46	19 24	04 40	19 30	04 34	19 36	04 27	19 43
14	05 10	18 58	05 06	19 02	05 02	19 06	04 58	19 11	04 53	19 16	04 48	19 21	04 42	19 26	04 35	19 33
19	05 15	18 52	05 12	18 55	05 08	18 59	05 04	19 02	05 00	19 07	04 55	19 11	04 50	19 16	04 44	19 22
24	05 20	18 44	05 17	18 47	05 14	18 50	05 10	18 54	05 06	18 57	05 02	19 01	04 58	19 06	04 53	19 10
29	05 24	18 37	05 22	18 39	05 19	18 42	05 16	18 45	05 13	18 48	05 10	18 51	05 06	18 54	05 02	18 58

	40°		42°		44°		46°		48°		50°		52°		54°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Сентябрь																
3	05^h29^m	18^h29^m	05^h27^m	18^h31^m	05^h25^m	18^h33^m	05^h23^m	18^h35^m	05^h20^m	18^h38^m	05^h17^m	18^h40^m	05^h14^m	18^h43^m	05^h11^m	18^h47^m
8	05 34	18 21	05 32	18 22	05 31	18 24	05 29	18 26	05 27	18 28	05 25	18 30	05 23	18 32	05 20	18 34
13	05 39	18 13	05 38	18 14	05 36	18 15	05 35	18 16	05 34	18 17	05 32	18 19	05 31	18 20	05 29	18 22
18	05 43	18 04	05 43	18 05	05 42	18 06	05 41	18 06	05 41	18 07	05 40	18 08	05 39	18 08	05 38	18 09
23	05 48	17 56	05 48	17 56	05 48	17 56	05 48	17 56	05 48	17 56	05 47	17 57	05 47	17 57	05 47	17 57
28	05 53	17 48	05 53	17 47	05 54	17 47	05 54	17 47	05 55	17 46	05 55	17 46	05 45	17 45	05 56	17 45
Октябрь																
3	05 58	17 40	05 59	17 39	06 00	17 38	06 01	17 37	06 01	17 36	06 03	17 35	06 04	17 34	06 05	17 32
8	06 03	17 32	06 04	17 30	06 06	17 29	06 07	17 27	06 09	17 26	06 10	17 24	06 12	17 22	06 14	17 20
13	06 08	17 24	06 10	17 22	06 12	17 20	06 14	17 18	06 16	17 16	06 18	17 14	06 21	17 11	06 24	17 08
18	06 13	17 17	06 16	17 14	06 18	17 12	06 20	17 09	06 23	17 07	06 26	17 04	06 29	17 00	06 33	16 57
23	06 19	17 10	06 21	17 07	06 24	17 04	06 27	17 01	06 31	16 57	06 34	16 54	06 38	16 50	06 43	16 45
28	06 24	17 03	06 27	17 00	06 31	16 56	06 34	16 53	06 38	16 49	06 43	16 44	06 47	16 40	06 52	16 35
Ноябрь																
2	06 30	16 57	06 34	16 53	06 37	16 49	06 42	16 45	06 46	16 41	06 51	16 36	06 56	16 30	07 02	16 24
7	06 36	16 51	06 40	16 47	06 44	16 43	06 49	16 38	06 54	16 33	06 59	16 28	07 05	16 22	07 12	16 15
12	06 41	16 47	06 46	16 42	06 51	16 37	06 56	16 32	07 01	16 26	07 08	16 20	07 14	16 14	07 22	16 06
17	06 47	16 42	06 52	16 38	06 57	16 32	07 03	16 27	07 09	16 21	07 16	16 14	07 23	16 06	07 31	15 58
22	06 53	16 39	06 58	16 34	07 04	16 28	07 10	16 22	07 16	16 16	07 24	16 08	07 31	16 00	07 40	15 52
27	06 58	16 37	07 04	16 31	07 10	16 25	07 16	16 19	07 23	16 12	07 31	16 04	07 39	15 55	07 49	15 46
Декабрь																
2	07 03	16 35	07 09	16 29	07 16	16 23	07 22	16 16	07 30	16 09	07 38	16 01	07 47	15 52	07 57	15 42
7	07 08	16 35	07 14	16 29	07 21	16 22	07 28	16 15	07 36	16 07	07 44	15 59	07 53	15 49	08 04	15 39
12	07 12	16 35	07 19	16 29	07 25	16 22	07 33	16 15	07 40	16 07	07 49	15 58	07 59	15 48	08 10	15 38
17	07 16	16 36	07 22	16 30	07 29	16 23	07 36	16 16	07 45	16 08	07 53	15 59	08 03	15 49	08 14	15 38
22	07 18	16 38	07 24	16 31	07 31	16 24	07 39	16 17	07 47	16 09	07 56	16 00	08 06	15 50	08 17	15 39
27	07 21	16 41	07 27	16 35	07 34	16 28	07 41	16 21	07 49	16 13	07 58	16 04	08 08	15 54	08 19	15 43
31	07 22	16 44	07 28	16 38	07 35	16 31	07 42	16 24	07 50	16 16	07 59	16 08	08 08	15 58	08 19	15 47

	56°		58°		60°		62°		64°		66°		68°		70°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Январь																
1	08^h31^m	15^h36^m	08^h46^m	15^h22^m	09^h02^m	15^h05^m	09^h23^m	14^h44^m	09^h50^m	14^h18^m	10^h28^m	13^h39^m	—	—	—	—
6	08 29	15 43	08 43	15 29	08 59	15 13	09 19	14 54	09 44	14 29	10 18	13 54	11^h23^m	12^h49^m	—	—
11	08 26	15 51	08 39	15 38	08 54	15 23	09 12	15 05	09 35	14 42	10 05	14 11	10 54	13 23	—	—
16	08 20	16 00	08 33	15 48	08 47	15 34	09 03	15 17	09 24	14 57	09 51	14 30	10 29	13 51	—	—
21	08 14	16 10	08 25	15 58	08 38	15 46	08 53	15 31	09 11	15 12	09 35	14 49	10 06	14 17	10^h58^m	13^h26^m
26	08 06	16 20	08 16	16 10	08 28	15 58	08 41	15 45	08 58	15 28	09 18	15 08	09 44	14 42	10 22	14 04
31	07 57	16 31	08 06	16 21	08 17	16 11	08 29	15 59	08 43	15 45	09 01	15 28	09 23	15 06	09 52	14 36
Февраль																
5	07 43	16 41	07 56	16 33	08 05	16 24	08 15	16 14	08 28	16 01	08 43	15 47	09 01	15 28	09 25	15 05
10	07 37	16 52	07 44	16 45	07 52	16 38	08 01	16 28	08 12	16 18	08 25	16 05	08 40	15 50	08 59	15 31
15	07 26	17 03	07 32	16 57	07 39	16 51	07 47	16 43	07 56	16 34	08 06	16 24	08 19	16 11	08 35	15 55
20	07 14	17 14	07 19	17 09	07 25	17 04	07 31	16 57	07 39	16 50	07 48	16 41	07 58	16 31	08 11	16 19
25	07 02	17 25	07 06	17 21	07 11	17 17	07 16	17 12	07 22	17 06	07 29	16 59	07 37	16 51	07 47	16 41
Март																
2	06 50	17 36	06 53	17 33	06 56	17 29	07 00	17 26	07 05	17 21	07 10	17 16	07 16	17 10	07 24	17 03
7	06 37	17 46	06 39	17 44	06 42	17 42	06 44	17 39	06 48	17 36	06 51	17 33	06 55	17 29	07 01	17 24
12	06 24	17 57	06 25	17 56	06 27	17 54	06 28	17 53	06 30	17 51	06 32	17 49	06 35	17 47	06 37	17 44
17	06 11	18 07	06 11	18 07	06 12	18 07	06 12	18 06	06 12	18 06	06 13	18 06	06 14	18 05	06 14	18 05
22	05 58	18 17	05 57	18 18	05 56	18 19	05 56	18 20	05 55	18 21	05 54	18 22	05 53	18 23	05 51	18 25
27	05 45	18 28	05 43	18 29	05 41	18 31	05 39	18 33	05 37	18 36	05 35	18 38	05 31	18 42	05 28	18 46
Апрель																
1	05 31	18 38	05 29	18 40	05 26	18 43	05 23	18 47	05 19	18 50	05 15	18 55	05 10	19 00	05 04	19 06
6	05 18	18 48	05 15	18 52	05 11	18 56	05 07	19 00	05 02	19 05	04 56	19 11	04 49	19 18	04 41	19 27
11	05 05	18 58	05 01	19 03	04 56	19 08	04 51	19 14	04 44	19 20	04 37	19 28	04 28	19 37	04 17	19 48
16	04 53	19 08	04 47	19 14	04 41	19 20	04 34	19 27	04 26	19 35	04 17	19 45	04 06	19 57	03 52	20 11
21	04 40	19 19	04 34	19 25	04 27	19 32	04 19	19 41	04 09	19 51	03 58	20 02	03 44	20 17	03 27	20 34
26	04 28	19 29	04 21	19 36	04 12	19 45	04 03	19 55	03 52	20 06	03 38	20 20	03 21	20 37	03 00	20 59

	56°		58°		60°		62°		64°		66°		68°		70°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Май																
1	04^h17^m	19^h39^m	04^h08^m	19^h47^m	03^h59^m	19^h57^m	03^h48^m	20^h09^m	03^h34^m	20^h22^m	03^h18^m	20^h39^m	02^h59^m	20^h59^m	02^h32^m	21^h26^m
6	04 06	19 49	03 56	19 58	03 45	20 10	03 33	20 23	03 17	20 38	02 59	20 57	02 35	21 22	02 02	21 57
11	03 55	19 59	03 45	20 09	03 33	20 22	03 18	20 37	03 01	20 54	02 39	21 17	02 10	21 47	01 25	22 35
16	03 46	20 08	03 34	20 20	03 21	20 34	03 04	20 50	02 45	21 11	02 19	21 37	01 43	22 15	00 26	+
21	03 37	20 17	03 25	20 30	03 10	20 45	02 52	21 03	02 29	21 26	01 59	21 58	01 11	22 49	+	+
26	03 30	20 25	03 16	20 39	03 00	20 56	02 40	21 16	02 14	21 42	01 38	22 19	00 21	+	+	+
31	03 23	20 33	03 09	20 48	02 51	21 05	02 29	21 27	02 01	21 57	01 17	22 42	+	+	+	+
Июнь																
5	03 18	20 39	03 03	20 55	02 44	21 14	02 21	21 37	01 49	22 10	00 55	23 06	+	+	+	+
10	03 15	20 44	02 59	21 01	02 39	21 20	02 14	21 45	01 39	22 21	00 29	23 36	+	+	+	+
15	03 13	20 48	02 56	21 05	02 36	21 25	02 10	21 51	01 33	22 29	+	+	+	+	+	+
20	03 13	20 50	02 56	21 07	02 35	21 28	02 09	21 54	01 31	22 32	+	+	+	+	+	+
25	03 14	20 51	02 57	21 07	02 37	21 28	02 11	21 54	01 33	22 32	+	+	+	+	+	+
30	03 17	20 50	03 01	21 06	02 41	21 26	02 15	21 51	01 39	22 27	+	23 53	+	+	+	+
Июль																
5	03 22	20 47	03 06	21 02	02 46	21 22	02 22	21 46	01 48	22 19	00 45	23 19	+	+	+	+
10	03 27	20 42	03 12	20 57	02 54	21 15	02 31	21 38	02 01	22 08	01 11	22 56	+	+	+	+
15	03 34	20 37	03 20	20 51	03 03	21 08	02 42	21 28	02 14	21 55	01 34	22 34	+	+	+	+
20	03 42	20 29	03 29	20 43	03 13	20 58	02 54	21 17	02 29	21 41	01 56	22 14	00 54	23 10	+	+
25	03 50	20 21	03 38	20 33	03 24	20 48	03 06	21 05	02 45	21 26	02 16	21 53	01 33	22 34	+	+
30	04 00	20 12	03 48	20 23	03 35	20 36	03 20	20 51	03 01	21 10	02 36	21 33	02 03	22 05	01 03	23 00
Август																
4	04 09	20 02	03 56	20 12	03 47	20 24	03 33	20 37	03 17	20 53	02 56	21 13	02 29	21 40	01 48	22 18
9	04 19	19 51	04 09	20 00	03 59	20 10	03 47	20 22	03 32	20 36	03 15	20 54	02 52	21 15	02 21	21 45
14	04 28	19 40	04 20	19 48	04 11	19 57	04 00	20 07	03 48	20 19	03 33	20 34	03 14	20 52	02 50	21 16
19	04 38	19 28	04 31	19 35	04 23	19 43	04 14	19 52	04 03	20 02	03 50	20 14	03 35	20 30	03 15	20 49
24	04 48	19 16	04 42	19 21	04 35	19 28	04 27	19 36	04 18	19 45	04 07	19 55	03 55	20 07	03 39	20 23
29	04 58	19 03	04 53	19 08	04 47	19 13	04 41	19 20	04 33	19 27	04 24	19 35	04 14	19 46	04 01	19 58

	56°		58°		60°		62°		64°		66°		68°		70°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Сентябрь																
3	05^h08^m	18^h50^m	05^h03^m	18^h54^m	04^h59^m	18^h58^m	04^h54^m	19^h03^m	04^h48^m	19^h09^m	04^h41^m	19^h16^m	04^h32^m	19^h24^m	04^h22^m	19^h34^m
8	05 17	18 37	05 14	18 40	05 11	18 43	05 07	18 47	05 02	18 52	04 57	18 57	04 51	19 03	04 43	19 10
13	05 27	18 24	05 25	18 26	05 22	18 28	05 20	18 31	05 16	18 34	05 13	18 37	05 08	18 41	05 03	18 46
18	05 37	18 10	05 36	18 12	05 34	18 13	05 32	15 14	05 31	18 16	05 29	18 18	05 26	18 20	05 23	18 23
23	05 47	17 57	05 46	17 57	05 46	17 58	05 45	17 58	05 45	17 58	05 44	17 59	05 44	17 59	05 43	18 00
28	05 56	17 44	05 57	17 43	05 58	17 42	05 58	17 42	05 59	17 41	06 00	17 40	06 01	17 38	06 02	17 37
Октябрь																
3	06 06	17 31	06 08	17 29	06 10	17 27	06 11	17 25	06 14	17 23	06 16	17 21	06 19	17 17	06 22	17 14
8	06 16	17 18	06 19	17 15	06 22	17 12	06 25	17 09	06 28	17 06	06 32	17 01	06 37	16 57	06 43	16 51
13	06 27	17 05	06 30	17 02	06 84	16 58	06 38	16 53	06 43	16 48	06 49	16 43	06 55	16 36	07 03	16 27
18	06 37	16 53	06 41	16 48	06 46	16 43	06 52	16 38	06 58	16 31	07 05	16 24	07 14	16 15	07 25	16 04
23	06 47	16 40	06 53	16 35	06 59	16 29	07 05	16 22	07 13	16 14	07 22	16 05	07 33	15 54	07 47	15 41
28	06 58	16 29	07 04	16 23	07 11	16 15	07 19	16 07	07 29	15 58	07 40	15 47	07 53	15 33	08 10	15 16
Ноябрь																
2	07 09	16 18	07 16	16 10	07 24	16 02	07 34	15 53	07 45	15 41	07 58	15 28	08 14	15 12	08 35	14 51
7	07 19	16 07	07 28	15 59	07 37	15 50	07 48	15 39	08 01	15 26	08 16	15 10	08 36	14 51	09 01	14 26
12	07 30	15 58	07 39	15 49	07 50	15 38	08 02	15 25	08 17	15 11	08 35	14 52	08 58	14 29	09 29	13 58
17	07 40	15 49	07 51	15 39	08 03	15 27	08 16	15 13	08 33	14 56	08 54	14 35	09 21	14 08	10 02	13 27
22	07 50	15 42	08 02	15 30	08 15	15 17	08 30	15 02	08 49	14 43	09 13	14 19	09 46	13 45	10 43	12 48
27	08 00	15 35	08 12	15 23	08 26	15 09	08 43	14 52	09 04	14 31	09 32	14 03	10 12	13 22	—	—
Декабрь																
2	08 08	15 30	08 21	15 17	08 37	15 02	08 55	14 43	09 18	14 20	09 50	13 49	10 41	12 57	—	—
7	08 16	15 27	08 30	15 13	08 46	14 57	09 06	14 37	09 31	14 12	10 06	13 36	11 18	12 25	—	—
12	08 22	15 25	08 36	15 11	08 54	14 54	09 14	14 33	09 41	14 06	10 20	13 27	—	—	—	—
17	08 27	15 25	08 42	15 11	08 59	14 53	09 21	14 32	09 49	14 03	10 30	13 22	—	—	—	—
22	08 29	15 26	08 44	15 11	09 02	14 54	09 23	14 32	09 52	14 04	10 35	13 21	—	—	—	—
27	08 32	15 31	08 46	15 16	09 04	14 59	09 25	14 37	09 53	14 09	10 35	13 28	—	—	—	—
31	08 32	15 35	08 46	15 20	09 03	15 03	09 24	14 42	09 51	14 15	10 30	13 36	—	—	—	—

— Солнце под горизонтом, + Солнце над горизонтом.

Таблица 20б

Таблица поправок моментов за начало года для различных лет второй половины XX в.

(Используется при пользовании Таблицей моментов восхода и захода Солнца по местному времени: поправка вводится в дату при интерполировании табличных данных. См. также Таблицу поправок за долготу.)

1950	$-0^d,37$	1965	$-0^d,01$	1981	$+0^d,12$	1996	$-0^d,52$
1951	−0,62	1966	−0,25	1982	−0,12		+0,48
1952	−0,86	1967	−0,49	1983	−0,37	1997	+0,24
	+0,14	1968	−0,73	1984	−0,61	1998	0,00
1953	−0,10		+0,27		+0,39	1999	−0,24
1954	−0,34	1969	+0,02	1985	+0,15	2000	−0,48
1955	−0,58	1970	−0,22	1986	−0,09		+0,52
1956	−0,83	1971	−0,46	1987	−0,34		
	+0,17	1972	−0,70	1988	−0,58		
1957	−0,07		+0,30		+0,42		
1958	−0,31	1973	+0,06	1989	+0,18		
1959	−0,55	1974	−0,19	1990	−0,06		
1960	−0,80	1975	−0,43	1991	−0,30		
	+0,20	1976	−0,67	1992	−0,55		
1961	−0,04		+0,33		+0,45		
1962	−0,28	1977	+0,09	1993	+0,21		
1963	−0,52	1978	−0,16	1994	−0,03		
1964	−0,76	1979	−0,40	1995	−0,27		
	+0,24	1980	−0,64				
			+0,36				

Для високосных лет верхнее число берется для января и февраля, нижнее — для остальных месяцев.

Таблица 20в

Таблица поправок моментов за долготу от Гринвича

(Употребляется при использовании Таблицы моментов восхода и захода Солнца по местному времени: поправка вводится при интерполировании табличных данных, вычисленных для долготы Гринвича.)

Вост. долг.	Поправка	Вост. долг.	Поправка	Вост. долг.	Поправка
2°	$-0^d,01$	65°	$-0^d,18$	125°	$-0^d,35$
10	−0,03	70	−0,19	130	−0,36
15	−0,04	75	−0,21	135	−0,38
20	−0,06	80	−0,22	140	−0,39
25	−0,07	85	−0,24	145	−0,40
30	−0,08	90	−0,25	150	−0,42
35	−0,10	95	−0,26	155	−0,43
40	−0,11	100	−0,28	160	−0,44
45	−0,12	105	−0,29	165	−0,46
50	−0,14	110	−0,31	170	−0,47
55	−0,15	115	−0,32	175	−0,49
60	−0,17	120	−0,33	180	−0,50

Для западной долготы поправка имеет обратный знак.

Таблица 21

Часовые углы восхода и захода с поправкой за рефракцию для $\varphi = 56°$ и δ от $+30°$ до $-30°$

Для других широт от 40 до 64° часовой угол t находится вычетом из значения t для $\varphi = 56°$ соответствующей поправки по табл. 25.

δ	t	δ	t	δ	t	δ	t
+30°	$10^h\ 5^m$	+14°	7^h31^m	0°	$6^h\ 4^m$	−16°	4^h24^m
+28	9 36	+12	7 18	−2	5 52	−18	4 10
+26	9 12	+10	7 5	−4	5 40	−20	3 55
+24	8 51	+8	6 52	−6	5 28	−22	3 38
+22	8 33	+6	6 40	−8	5 16	−24	3 21
+20	8 16	+4	6 28	−10	5 4	−26	3 1
+18	8 0	+2	6 16	−12	4 51	−28	2 39
+16	7 45	0	6 4	−14	4 38	−30	2 14

Таблица 22

Поправки на восход и заход планет

Поправки даны для момента восхода; для захода следует изменить знак поправки на обратный.

δ \ φ	40°	42°	44°	46°	48°	50°	52°	54°	56°	58°	60°	62°	64°
+30°	$+125^m$	$+116^m$	$+105^m$	$+93^m$	$+80^m$	$+65^m$	$+48^m$	$+27^m$	0^m	-39^m	—	—	—
28	106	97	88	78	66	53	38	21	0	27	-67^m	—	—
26	92	84	76	66	56	45	32	17	0	21	49	-89^m	—
24	80	73	66	57	48	38	27	15	0	17	39	66	-108^m
22	70	64	57	50	42	33	23	13	0	14	32	54	81
20	61	56	50	44	36	29	20	11	0	12	27	45	66
18	54	49	43	38	32	25	17	9	0	11	23	38	55
16	47	42	38	33	27	21	15	8	0	9	19	32	46
14	40	36	32	28	23	18	13	7	0	8	16	26	38
12	34	31	27	24	20	16	11	6	0	6	13	21	31
10	28	25	22	19	16	13	9	5	0	5	11	17	26
8	22	20	18	15	13	10	7	4	0	4	9	14	21
6	17	15	14	12	10	8	5	3	0	3	7	11	16
4	11	10	9	8	7	5	4	2	0	2	5	8	11
+2	6	6	5	4	4	3	+2	+1	0	−1	3	4	6
0	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	0	0	0	−1	−1	−2
−2	−4	−4	−3	−3	−2	−2	−1	−1	0	+1	+2	+2	+3
4	9	8	7	6	5	4	3	2	0	2	4	6	8
6	14	13	12	10	8	6	4	2	0	3	6	9	13
8	20	18	16	14	11	9	6	3	0	4	8	13	18
10	25	23	20	18	15	11	8	4	0	5	10	16	23
12	31	28	25	26	18	14	10	5	0	6	12	20	28
14	37	34	30	22	22	17	12	6	0	7	15	24	35
16	43	39	35	30	25	20	14	7	0	8	18	29	42
18	50	46	41	35	29	23	16	9	0	10	21	34	50
20	58	52	47	41	34	27	19	10	0	11	25	41	60
22	66	60	54	47	39	31	22	12	0	13	29	49	73
24	75	68	61	54	45	36	25	14	0	16	35	57	90
26	86	78	70	62	52	41	29	16	0	19	43	74	+129
28	98	90	81	71	61	48	35	19	0	23	55	+109	—
30	−115	−105	−95	−84	−72	−58	−42	−23	0	+31	+84	—	—

Продолжительность гражданских сумерек на различных широтах от 0 до +70°

(для южной широты дату надо изменить на 6 месяцев вперед или назад)

Знак «—» означает, что сумерки длятся всю ночь, знак «▭» означает непрерывный день. Для высоких широт продолжительность сумерек можно получить по графику рис. 213.

Широта Дата		0°	10°	20°	30°	35°	40°	45°	50°	52°	54°	56°	58°	60°	62°	64°	66°	68°	70°
Январь	1	24^m	24^m	25^m	27^m	29^m	31^m	35^m	39^m	42^m	44^m	49^m	52^m	59^m	1^h04^m	1^h15^m	1^h35^m	2^h47^m	2^h14^m
	15	23	23	25	27	29	31	34	38	40	43	47	50	55	0 59	1 07	1 19	1 40	2 52
Февраль	1	22	23	24	26	28	30	32	37	39	41	43	46	50	0 53	0 57	1 03	1 13	1 26
	15	22	23	24	26	27	29	31	35	37	39	40	42	46	0 48	0 51	0 56	1 02	1 09
Март	1	22	22	23	25	26	28	31	34	36	38	39	41	44	0 46	0 48	0 52	0 57	1 02
	15	22	22	23	25	26	28	30	34	35	37	38	40	43	0 45	0 47	0 51	0 56	1 01
Апрель	1	22	22	23	25	27	28	31	34	36	37	40	41	44	0 46	0 50	0 54	1 00	1 07
	15	22	22	24	26	27	29	32	35	38	39	41	44	48	0 50	0 55	1 02	1 10	1 23
Май	1	23	23	24	26	28	30	34	38	40	43	46	50	56	1 00	1 09	1 24	1 56	—
	15	23	23	25	27	29	32	35	41	43	47	51	57	1^h05	1 17	1 42	—	—	—
Июнь	1	23	24	25	27	30	33	37	42	47	52	59	1^h09	1 25	—	—	—	▭	▭
	15	23	24	26	29	31	34	38	45	50	56	1^h03	1 16	1 45	—	—	▭	▭	▭
Июль	1	23	23	25	28	31	34	38	45	49	54	1 02	1 15	1 40	—	—	—	▭	▭
	15	23	23	25	27	30	33	37	43	46	51	57	1 05	1 20	1 49	—	—	▭	▭
Август	1	22	23	24	27	29	31	35	40	42	45	49	55	1 01	1 50	1 27	2 17	—	—
	15	22	23	24	26	27	30	33	37	39	41	44	48	52	0 57	1 04	1 15	1 33	2 28
Сентябрь	1	22	22	23	25	27	29	31	35	36	38	40	43	45	0 48	0 53	0 58	1 05	1 15
	15	22	22	23	24	26	28	30	33	35	36	39	41	43	0 45	0 49	0 53	0 58	1 04
Октябрь	1	22	22	23	25	26	27	30	33	34	36	38	40	42	0 44	0 47	0 51	0 55	1 00
	15	22	22	23	25	26	27	31	34	35	37	38	40	43	0 45	0 48	0 52	0 57	1 03
Ноябрь	1	22	22	24	25	26	29	32	35	36	38	40	42	46	0 49	0 53	0 58	1 05	1 14
	15	22	22	24	26	27	30	33	37	38	40	43	46	50	0 54	1 00	1 07	1 19	1 37
Декабрь	1	23	23	25	27	29	31	34	38	40	43	46	50	55	1 01	1 10	1 24	1 52	2 38
	15	23	24	25	27	29	32	35	39	42	45	49	53	59	1 05	1 17	1 39	2 42	2 08

Таблица 24

Продолжительность астрономических сумерек на различных широтах от 0 до +70°

(для южной широты дату надо изменить на 6 месяцев вперед или назад)

Знак «—» означает, что сумерки длятся всю ночь, знак «▭» означает непрерывный день (табличные данные прибавлять к числу часов сверху). Для высоких широт продолжительность сумерек можно получить по графику рис. 192.

Широта / Дата		0°	10°	20°	30°	35°	40°	45°	50°	52°	54°	56°	58°	60°	62°	64°	66°	68°	70°
		1^h+	1^h+	1^h+	1^h+	1^h+	1^h+	1^h+	1^h+	1^h+	2^h+	2^h+	2^h+	2^h+	2^h+	2^h+	2^h+	3^h+	3^h+
Январь	1	16^m	17^m	19^m	26^m	31^m	38^m	47^m	1^h00^m	1^h06^m	14^m	23^m	34^m	46^m	1^h00^m	1^h22^m	1^h55^m	2^h25^m	2^h18^m
	15	15	15	18	25	30	37	45	57	1 03	10	19	28	39	51	1 08	1 32	1 08	2 39
Февраль	1	13	14	17	23	28	34	42	53	58	4	11	19	28	38	0 51	1 07	0 28	0 56
	15	11	12	15	22	26	32	40	50	56	0	8	15	23	31	0 42	0 55	0 12	0 32
Март	1	10	11	14	21	25	31	39	49	54	−1	5	12	20	29	0 40	0 53	0 9	0 29
	15	10	11	14	21	25	31	38	50	56	0	7	15	24	34	0 47	1 02	0 22	0 49
Апрель	1	10	11	14	21	27	34	43	55	1 02	9	18	28	40	56	1 19	1 56	—	—
	15	11	12	17	24	30	38	50	1 04	1 13	23	35	52	1 18	2 25	—	—	—	—
Май	1	12	14	18	28	34	45	59	1 21	1 34	52	86	—	—	—	—	—	—	—
	15	14	16	21	32	40	52	1^h10	1 45	2 15	—	—	—	—	—	—	—	▭	▭
Июнь	1	15	18	24	34	45	1^h00	1 24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▭	▭
	15	16	19	25	37	48	1 04	1 34	—	—	—	—	—	—	—	—	▭	▭	▭
Июль	1	16	18	25	37	47	1 03	1 32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▭	▭
	15	15	17	23	34	44	58	1 21	2 02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▭
Август	1	13	15	21	31	39	50	1 07	1 37	2 00	1 49	—	—	—	—	—	—	—	—
	15	12	14	18	27	34	43	57	1 16	1 28	45	1 05	1 59	—	—	—	—	—	—
Сентябрь	1	10	12	16	23	29	36	46	1 00	1 08	16	27	43	1 00	85	—	—	—	—
	15	10	11	15	21	26	33	41	53	1 02	6	13	24	35	46	1 06	1 28	1 08	—
Октябрь	1	10	11	14	20	25	31	39	50	54	0	6	14	22	31	0 43	0 58	0 16	0 39
	15	10	12	15	21	25	31	39	48	53	−1	5	12	20	28	0 39	0 52	0 7	0 26
Ноябрь	1	11	13	15	22	26	33	40	51	56	0	8	15	24	33	0 44	0 59	0 16	0 38
	15	13	14	17	24	28	35	43	54	59	5	13	22	31	41	0 56	1 13	37	1 12
Декабрь	1	15	16	18	25	31	37	46	58	1 04	11	19	29	41	54	1 13	1 39	1 23	2 31
	15	16	18	20	26	32	39	48	1 00	1 07	15	24	34	47	1 02	1 25	2 00	2 22	2 14

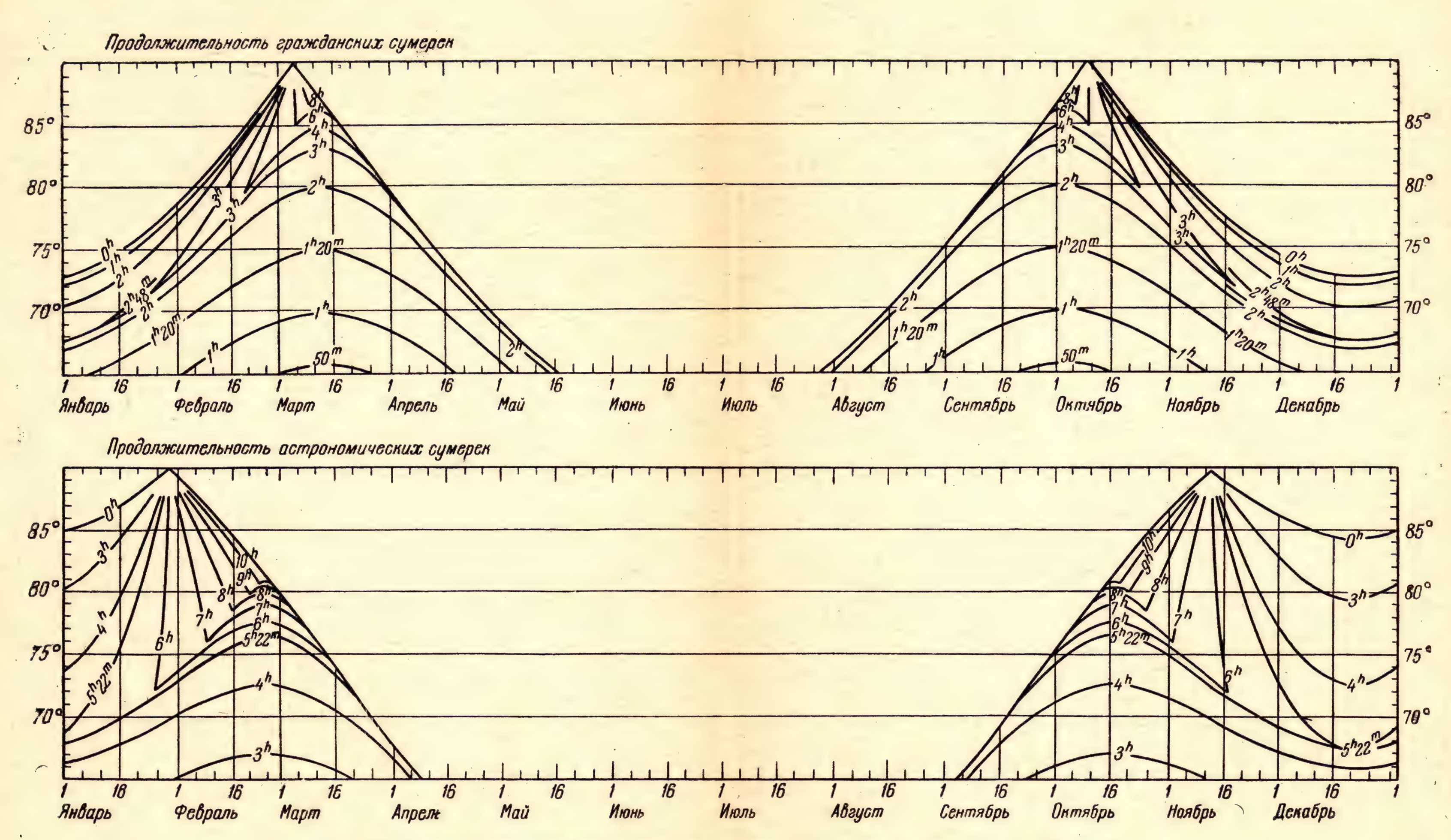


Рис. 192. Продолжительность гражданских и астрономических сумерек для широт от 65 до 90°.

Таблица 25

Разность географической и геоцентрической широт $\varphi-\varphi'$ и отношение радиуса-вектора на широте φ к экваториальному радиусу Земли ρ/a

$$\varphi-\varphi' = 692{,}743 \sin 2\varphi - 1'',163 \sin 4\varphi + 0'',003 \sin 6\varphi,$$
$$\rho/a = 0{,}99832707 + 0{,}00167664 \cos 2\varphi - 0{,}00000352 \cos 4\varphi.$$

φ	$\varphi-\varphi'$	ρ/a	φ	$\varphi-\varphi'$	ρ/a	φ	$\varphi-\varphi'$	ρ/a
35°	10′ 50″,2215	0,99890	50°	11′ 22″,6085	0,99804	65°	8′ 51″,7880	0,99725
36	10 58,1825	0,99885	51	11 18,0425	0,99798	66	8 35,9357	0,99721
37	11 05,3156	0,99879	52	11 12,7123	0,99792	67	8 19,4543	0,99716
38	11 11,6203	0,99874	53	11 06,5481	0,99787	68	8 11,0031	0,99712
39	11 17,0965	0,99868	54	10 59,5497	0,99781	69	7 44,6734	0,99708
40	11 21,8130	0,99862	55	10 51,7167	0,99776	70	7 26,4405	0,99704
41	11 25,7001	0,99856	56	10 43,1180	0,99770	71	7 07,6531	0,99700
42	11 28,6883	0,99851	57	10 33,6840	0,99765	72	6 48,3033	0,99697
43	11 30,9156	0,99845	58	10 23,5532	0,99759	73	6 28,4632	0,99694
44	11 32,2432	0,99839	59	10 12,5866	0,99754	74	6 08,1328	0,99690
45	11 32,7400	0,99833	60	10 00,9226	0,99749	75	5 47,3817	0,99687
46	11 32,4055	0,99827	61	9 48,4917	0,99744	76	5 26,2099	0,99684
47	11 31,2394	0,99821	62	9 35,3629	0,99739	77	5 04,6179	0,99682
48	11 29,1718	0,99816	63	9 21,5361	0,99734	78	4 42,6057	0,99679
49	11 26,3412	0,99810	64	9 07,0112	0,99730	79	4 20,3122	0,99677
50	11 22,6085	0,99804	65	8 51,7880	0,99725	80	3 57,6683	0,99675

Таблица 26

Названия и обозначения созвездий

В таблице даны: 1) русские названия, 2) латинские названия, 3) положение: созвездия, лежащие целиком или большей частью к северу от +35° склонения, обозначены буквой N, южнее −35° склонения обозначены буквой S, 4) родительный падеж (для наименования звезд созвездия), 5) международное сокращенное трехбуквенное обозначение, 6) площадь созвездия в квадратных градусах, 7) число звезд ярче $6^m,0$.

Русское название	Латинское название	Положение	Родительный падеж	Обозначение	Площадь в квадратных градусах	Число звезд ярче $6^m,0$
Андромеда	Andromeda	N	Andromedae	And	722	100
Близнецы	Gemini		Geminorum	Gem	514	70
Большая Медведица	Ursa Major	N	Ursae Majoris	UMa	1280	125
Большой Пес . .	Canis Major		Canis Majoris	CMa	380	80
Весы	Libra		Librae	Lib	538	50
Водолей	Aquarius		Aquarii	Aqr	980	90
Возничий	Auriga	N	Aurigae	Aur	657	90
Волк	Lupus	S	Lupi	Lup	334	70
Волопас	Bootes		Bootis	Boo	907	90
Волосы Вероники	Coma Berenices		Comae Berenices	Com	386	50
Ворон	Corvus		Corvi	Crv	184	15
Геркулес	Hercules		Herculis	Her	1225	140

Продолжние табл. 26

Русское название	Латинское название	Положение	Родительный падеж	Обозначение	Площадь в квадратных градусах	Число звезд ярче $6^m,0$
Гидра	Hydra		Hydrae	Hya	1300	130
Голубь	Columba	S	Columbae	Col	270	40
Гончие Псы . . .	Canes Venatici	N	Canum Venaticorum	CVn	465	30
Дева	Virgo		Virginis	Vir	1290	95
Дельфин	Delphinus		Delphini	Del	189	30
Дракон	Draco	N	Draconis	Dra	1083	80
Единорог	Monoceros	S	Monocerotis	Mon	482	85
Жертвенник . . .	Ara	S	Arae	Ara	237	30
Живописец . . .	Pictor	N	Pictoris	Pic	247	30
Жираф	Camelopardalis	S	Camelopardalis	Cam	757	50
Журавль	Grus		Gruis	Gru	366	30
Заяц	Lepus		Leporis	Lep	290	40
Змееносец (Офиух)	Ophiuchus		Ophiuchi	Oph	948	100
Змея	Serpens		Serpentis	Ser	637	60
Золотая Рыба . .	Dorado	S	Doradus	Dor	179	20
Индеец	Indus	S	Indi	Ind	294	20
Кассиопея	Cassiopeja	N	Cassiopejae	Cas	598	90
Кентавр	Centaurus	S	Centauri	Cen	1060	150
Киль	Carina	S	Carinae	Car	494	110
Кит	Cetus		Ceti	Cet	1230	100
Козерог	Capricornus		Capricorni	Cap	414	50
Компас	Pyxis		Pyxidis	Pyx	221	25
Корма	Puppis		Puppis	Pup	673	140
Лебедь	Cygnus		Cygni	Cyg	804	150
Лев	Leo	N	Leonis	Leo	947	70
Летучая Рыба . .	Volans		Volantis	Vol	141	20
Лира	Lyra	S	Lyrae	Lyr	286	45
Лисичка	Vulpecula	N	Vulpeculae	Vul	268	45
Малая Медведица	Ursa Minor		Ursae Minoris	UMi	256	20
Малый Конь . . .	Equuleus		Equulei	Equ	72	10
Малый Лев . . .	Leo Minor	N	Leonis Minoris	LMi	232	20
Малый Пес . . .	Canis Minor		Canis Minoris	CMi	183	20
Микроскоп	Microscopium		Microscopii	Mic	210	20
Муха	Musca	S	Muscae	Mus	138	30
Насос	Antlia	S	Antliae	Ant	239	20
Наугольник . . .	Norma	S	Normae	Nor	165	20
Овен	Aries	S	Arietis	Ari	441	50
Октант	Octans		Octantis	Oct	291	35
Орел	Aquila	S	Aquilae	Aql	652	70
Орион	Orion		Orionis	Ori	594	120

Русское название	Латинское название	Положение	Родительный падеж	Обозначение	Площадь в квадратных градусах	Число звезд ярче $6^m,0$
Павлин	Pavo		Pavonis	Pav	378	45
Паруса	Vela	S	Velorum	Vel	500	110
Пегас	Pegasus	S	Pegasi	Peg	1121	100
Персей	Perseus		Persei	Per	615	90
Печь	Fornax	N	Fornacis	For	398	35
Райская Птица . .	Apus		Apodis	Aps	206	20
Рак	Cancer	S	Cancri	Cnc	506	60
Резец	Caelum		Caeli	Cae	125	10
Рыба	Pisces	S	Piscium	Psc	889	75
Рысь	Lynx		Lyncis	Lyn	545	60
Северная Корона	Corona Borealis	N	Coronae Borealis	CrB	179	20
Секстант	Sextans		Sextantis	Sex	314	25
Сетка	Reticulum		Reticuli	Ret	114	15
Скорпион	Scorpius	S	Scorpii	Sco	497	100
Скульптор	Sculptor		Sculptoris	Scl	475	30
Столовая Гора . .	Mensa		Mensae	Men	153	15
Стрела	Sagitta	S	Sagittae	Sge	80	20
Стрелец	Sagittarius		Sagittarii	Sgr	867	115
Телескоп	Telescopium	S	Telescopii	Tel	252	30
Телец	Taurus		Tauri	Tau	797	125
Треугольник . . .	Triangulum		Trianguli	Tri	132	15
Тукан	Tucana	S	Tucanae	Tuc	295	25
Феникс	Phoenix	S	Phoenicis	Phe	469	40
Хамелеон	Chamaeleon	S	Chamaeleontis	Cha	132	20
Цефей	Cepheus	N	Cephei	Cep	588	60
Циркуль	Circinus	S	Circini	Cir	93	20
Часы	Horologium	S	Horologii	Hor	249	20
Чаша	Crater		Crateris	Crt	282	20
Щит	Scutum		Scuti	Sct	109	20
Эридан	Eridanus		Eridani	Eri	1138	100
Южная Гидра . .	Hydrus	S	Hydri	Hyi	243	20
Южная Корона .	Corona Australis	S	Coronae Australis	CrA	128	25
Южная Рыба . .	Piscis Austrinus		Piscis Austrini	PsA	245	25
Южный Крест . .	Crux	S	Crucis	Cru	68	30
Южный Треугольник	Triangulum Australe	S	Trianguli Australis	TrA	110	20
Ящерица	Lacerta	N	Lacertae	Lac	201	35

В прежнее время созвездия Carina (Киль), Puppis (Корма), Pyxis (Компас) и Vela (Паруса) составляли одно большое созвездие Argo Navis (Корабль Аргонавтов).

Таблица 27a

Годовая прецессия по прямому восхождению (P_α)

Для северного склонения		+80°	+75°	+70°	+65°	+60°	+55°	+50°	+45°	+40°	+35°	+30°	+25°	+20°	+15°	+10°	+5°	0°	δ_c / $\alpha_ю$	
		s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s		
0^h00^m	12^h00^m	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	12^h00^m	24^h00^m
0 20	11 40	3,73	3,50	3,39	3,32	3,27	3,25	3,21	3,19	3,17	3,15	3,14	3,12	3,11	3,10	3,09	3,08	3,07	12 20	23 40
0 40	11 20	4,39	3,94	3,71	3,57	3,47	3,40	3,35	3,30	3,26	3,20	3,18	3,15	3,13	3,12	3,10	3,09	3,07	12 40	23 20
1 00	11 00	5,03	4,96	4,02	3,81	3,67	3,56	3,48	3,42	3,36	3,31	3,27	3,23	3,20	3,16	3,13	3,10	3,07	13 00	23 00
1 20	10 40	6,66	4,78	4,33	4,05	3,86	3,72	3,62	3,53	3,45	3,39	3,33	3,28	3,24	3,19	3,15	3,11	3,07	13 20	22 40
1 40	10 20	6,27	5,18	4,62	4,28	4,05	3,88	3,74	3,64	3,54	3,46	3,40	3,34	3,28	3,22	3,17	3,12	3,07	13 40	22 20
2 00	10 00	6,86	5,56	4,91	4,50	4,23	4,02	3,87	3,74	3,63	3,54	3,46	3,38	3,31	3,25	3,19	3,13	3,07	14 00	22 00
2 20	9 40	7,42	5,93	5,18	4,71	4,40	4,17	3,98	3,84	3,71	3,61	3,51	3,43	3,35	3,28	3,21	3,14	3,07	14 20	21 40
2 40	9 20	7,95	6,28	5,43	4,91	4,56	4,30	4,09	3,93	3,79	3,67	3,57	3,47	3,38	3,30	3,22	3,15	3,07	14 40	21 20
3 00	9 00	8,43	6,60	5,67	5,10	4,71	4,42	4,20	4,01	3,86	3,74	3,62	3,51	3,41	3,32	3,24	3,15	3,07	15 00	21 00
3 20	8 40	8,60	6,89	5,88	5,27	4,84	4,53	4,29	4,09	3,93	3,79	3,66	3,55	3,44	3,34	3,25	3,16	3,07	15 20	20 40
3 40	8 20	9,28	7,16	6,08	5,42	4,97	4,63	4,38	4,16	3,99	3,84	3,70	3,58	3,47	3,36	3,26	3,17	3,07	15 40	20 20
4 00	8 00	9,64	7,39	6,25	5,55	5,07	4,72	4,45	4,23	4,04	3,88	3,74	3,61	3,49	3,38	3,27	3,17	3,07	16 00	20 00
4 20	7 40	9,94	7,59	6,40	5,67	5,17	4,80	4,51	4,28	4,09	3,92	3,77	3,64	3,51	3,39	3,28	3,18	3,07	16 20	19 40
4 40	7 20	10,19	7,76	6,52	5,76	5,25	4,86	4,57	4,32	4,12	3,95	3,80	3,66	3,53	3,41	3,29	3,18	3,07	16 40	19 20
5 00	7 00	10,39	7,89	6,62	5,84	5,31	4,91	4,61	4,36	4,15	3,98	3,82	3,67	3,54	3,42	3,30	3,18	3,07	17 00	19 00
5 20	6 40	10,54	7,98	6,69	5,89	5,35	4,95	4,64	4,39	4,18	4,00	3,83	3,68	3,55	3,42	3,30	3,19	3,07	17 20	18 40
5 40	6 20	10,62	8,04	6,73	5,93	5,38	4,97	4,66	4,40	4,19	4,00	3,84	3,69	3,56	3,43	3,30	3,19	3,07	17 40	18 20
6 00	6 00	10,65	8,06	6,74	5,94	5,39	4,98	4,66	4,41	4,19	4,00	3,84	3,69	3,56	3,43	3,31	3,19	3,07	18 00	18 00
12 00	24 00	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	0 00	12 00
12 20	23 40	2,41	2,64	2,75	2,82	2,87	2,90	2,93	2,95	2,97	2,99	3,00	3,02	3,03	3,04	3,05	3,06	3,07	0 20	11 40
12 40	23 20	1,75	2,20	2,43	2,57	2,67	2,74	2,79	2,84	2,88	2,91	2,94	2,96	2,99	3,01	3,03	3,05	3,07	0 40	11 20
13 00	23 00	1,11	1,78	2,12	2,33	2,47	2,58	2,66	2,72	2,78	2,83	2,87	2,91	2,94	2,98	3,01	3,04	3,07	1 00	11 00
13 20	22 40	0,48	1,36	1,81	2,09	2,27	2,42	2,52	2,61	2,69	2,75	2,81	2,86	2,90	2,95	2,99	3,03	3,07	1 20	10 40
13 40	22 20	**0,13**	0,96	1,52	1,86	2,09	2,26	2,40	2,50	2,60	2,67	2,74	2,80	2,86	2,92	2,97	3,02	3,07	1 40	10 20
14 00	22 00	**0,72**	0,58	1,23	1,64	1,91	2,12	2,27	2,40	2,51	2,60	2,68	2,76	2,83	2,89	2,95	3,04	3,07	2 00	10 00
14 20	21 40	**1,28**	0,21	0,96	1,43	1,74	1,97	2,16	2,30	2,43	2,53	2,63	2,71	2,79	2,86	2,93	3,00	3,07	2 20	9 40
14 40	21 20	**1,81**	**0,14**	0,71	1,23	1,58	1,84	2,05	2,21	2,35	2,47	2,57	2,67	2,76	2,84	2,92	2,99	3,07	2 40	9 20
15 00	21 00	**2,29**	**0,46**	0,47	1,04	1,43	1,72	1,94	2,13	2,28	2,40	2,52	2,63	2,73	2,82	2,90	2,99	3,07	3 00	9 00
15 20	20 40	**2,74**	**0,75**	0,26	0,87	1,30	1,61	1,85	2,05	2,21	2,35	2,48	2,59	2,70	2,80	2,89	2,98	3,07	3 20	8 40
15 40	20 20	**3,14**	**1,02**	0,06	0,72	1,17	1,51	1,76	1,98	2,15	2,30	2,44	2,56	2,67	2,78	2,88	2,97	3,07	3 40	8 20

Для северного склонения		+80°	+75°	+70°	+65°	+60°	+55°	+50°	+45°	+40°	+35°	+30°	+25°	+20°	+15°	+10°	+5°	0°	$\delta_с$ / $\alpha_ю$	
		s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s		
16^h00^m	20^h00^m	**3,50**	**1,25**	**0,11**	0,59	1,07	1,42	1,69	1,91	2,10	2,26	2,40	2,53	2,65	2,76	2,87	2,97	3,07	4^h00^m	8^h00^m
16 20	19 40	**3,80**	**1,45**	**0,26**	0,47	0,97	1,34	1,63	1,86	2,05	2,22	2,37	2,50	2,63	2,75	2,86	2,96	3,07	4 20	7 40
16 40	19 20	**4,05**	**1,62**	**0,38**	0,38	0,89	1,28	1,57	1,81	2,02	2,19	2,34	2,48	2,61	2,73	2,85	2,96	3,07	4 40	7 20
17 00	19 00	**4,25**	**1,75**	**0,48**	0,30	0,83	1,23	1,53	1,78	1,99	2,16	2,32	2,47	2,60	2,72	2,84	2,96	3,07	5 00	7 00
17 20	18 40	**4,40**	**1,84**	**0,55**	0,25	0,79	1,19	1,50	1,75	1,96	2,15	2,31	2,46	2,59	2,72	2,84	2,95	3,07	5 20	6 40
17 40	18 20	**4,48**	**1,90**	**0,59**	0,21	0,76	1,17	1,48	1,74	1,95	2,14	2,30	2,45	2,58	2,71	2,84	2,95	3,07	5 40	6 20
18 00	18 00	**4,51**	**1,92**	**0,60**	0,20	0,75	1,16	1,48	1,73	1,95	2,13	2,30	2,45	2,58	2,71	2,83	2,95	3,07	6 00	6 00
$\alpha_с$ / $\delta_ю$		−80°	−75°	−70°	−65°	−60°	−55°	−50°	−45°	−40°	−35°	−30°	−25°	−20°	−15°	−10°	−5°	0°	Для южного склонения	

Числа, набранные жирным шрифтом, отрицательны.

Таблица 27б

Годовая прецессия по склонению (P_δ)

α	0^m	10^m	20^m	30^m	40^m	50^m	60^m	α	α	0^m	10^m	20^m	30^m	40^m	50^m	60^m	α
0^h	+20″,0	+20″,0	+20″,0	+19″,9	+19″,7	+19″,6	+19″,4	0^h	13^h	−19″,4	−19″,1	−18″,8	−18,5	−18″,2	−17″,8	−17″,4	13^h
1	+19,4	+19,1	+18,8	+18,5	+18,2	+17,8	+17,4	1	14	−17,4	−16,9	−16,4	−15,9	−15,4	−14,8	−14,2	14
2	+17,4	+16,9	+16,4	+15,9	+15,4	+14,8	+14,2	2	15	−14,2	−13,5	−12,9	−12,2	−11,5	−10,8	−10,0	15
3	+14,2	+13,5	+12,9	+12,2	+11,5	+10,8	+10,0	3	16	−10,0	−9,3	−8,5	−7,7	−6,9	−6,0	−5,2	16
4	+10,0	+9,3	+8,5	+7,7	+6,9	+6,0	+5,2	4	17	−5,2	−4,3	−3,5	−2,6	−1,7	−0,9	0,0	17
5	+5,2	+4,3	+3,5	+2,6	+1,7	+0,9	0,0	5	18	0,0	+0,9	+1,7	+2,6	+3,5	+4,3	+5,2	18
6	0,0	−0,9	−1,7	−2,6	−3,5	−4,3	−5,2	6	19	+5,2	+6,0	+6,9	+7,7	+8,5	+9,3	+10,0	19
7	−5,2	−6,0	−6,9	−7,7	−8,5	−9,3	−10,0	7	20	+10,0	+10,8	+11,4	+12,2	+12,9	+13,5	+14,2	20
8	−10,0	−10,8	−11,5	−12,2	−12,9	−13,5	−14,2	8	21	+14,2	+14,8	+15,4	+15,9	+16,4	+16,9	+17,4	21
9	−14,2	−14,8	−15,4	−15,9	−16,4	−16,9	−17,4	9	22	+17,4	+17,8	+18,2	+18,5	+18,8	+19,1	+19,4	22
10	−17,4	−17,8	−18,2	−18,5	−18,8	−19,1	−19,4	10	23	+19,4	+19,6	+19,7	+19,9	+20,0	+20,0	+20,0	23
11	−19,4	−19,6	−19,7	−19,9	−20,0	−20,0	−20,0	11	24	+20,0							
12	−20,0	−20,0	−20,0	−19,9	−19,7	−19,6	−19,4	12									

Средние места звезд ярче 4^m,50 для 1975,0 и редукционные

Таблица составлена по каталогу FK4 (W. Fricke u A. Kopff. Fourth Fun
FK4 Suppl. (Veröff. Astr. Inst. Heidelberg, No 11, 1963); pr — главный компо

№	Название звезды		Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
1	30	Рыб	4^m,41	M3 III	$0^h00^m40^s$,6	$+3^s$,08	− 6° 09′ 11″	+20″,0
2	α	Андромеды	2,06	B8 III	07 05,5	+3,11	+28 57 09	+19,9
3	β	Кассиопеи	2,27	F2 IV	07 50,0	+3,22	+59 00 43	+19,9
4	ε	Феникса	3,88	K0 III	08 08,8	+3,04	−45 53 07	+19,9
5	γ	Пегаса	2,84	B2 IV	11 56,7	+3,09	+15 02 41	+20,0
6	σ	Андромеды	4,52	A2 V	17 01,0	+3,14	+36 38 49	+20,0
7	ι	Кита	3,55	K2 III	18 09,2	+3,06	−08 57 45	+19,9
8	ζ	Тукана	4,23	G2 V	18 46,7	+3,11	−65 01 18	+21,1
9	β	Южной Гидры	2,80	G1 IV	24 27,7	+3,12	−77 23 42	+20,3
10	α	Феникса	2,40	K0 III	25 03,1	+2,96	−42 26 30	+19,5
11	κ	Кассиопеи	4,16	B1 I	31 33,9	+3,43	+62 47 39	+19,9
12	π	Андромеды	4,36	B5 V	35 32,4	+3,21	+33 34 55	+19,8
13	ζ	Кассиопеи	3,66	B2,5 IV	35 34,1	+3,36	+53 45 35	+19,8
14	ε	Андромеды	4,38	G8 III	37 13,8	+3,18	+29 10 35	+19,5
15	δ	Андромеды	3,28	K3 III	37 59,2	+3,22	+30 43 28	+19,7
16	α	Кассиопеи	2,23	K0 II	39 04,7	+3,42	+56 24 02	+19,7
17	β	Кита	2,02	K1 III	42 20,1	+3,01	−18 07 25	+19,7
18	ο	Кассиопеи	4,50	B2 V	43 19,4	+3,36	+48 08 52	+19,7
19	ζ	Андромеды	4,06	K III	46 00,6	+3,19	+24 07 53	+19,6
20	δ	Рыб	4,44	K5 III	47 23,0	+3,11	+07 26 57	+19,6
21	γ	Кассиопеи	2,39	B0 IV	55 11,1	+3,64	+60 34 54	+19,5
22	μ	Андромеды	3,87	A5 V	55 21,6	+3,34	+38 21 51	+19,5
23	η	Андромеды	4,42	G8 III	55 52,1	+3,21	+23 17 01	+19,5
24	α	Скульптора	4,31	B8 III	57 24,1	+2,89	−29 29 33	+19,4
25	ε	Рыб	4,28	K0 III	1 01 38,6	+3,12	+07 45 21	+19,3
26	2	М. Медведицы	4,26	K2 III	05 01,7	+8,7	+86 07 26	+19,2
27	η	Кита	3,45	K3 III	07 19,9	+3,02	−10 18 52	+19,0
28	β	Андромеды	2,05	M0 III	08 19,6	+3,37	+35 29 18	+19,0
29	τ	Рыб	4,51	K0 III	10 16,7	+3,31	+29 57 26	+19,1
30	θ	Кита	3,59	K0 III	22 46,3	+3,00	−08 18 43	+18,5
31	δ	Кассиопеи	2,68	A5 V	24 09,9	+3,95	+60 06 22	+18,7
32	γ	Феникса	3,41	K5 IIb	27 16,9	+2,60	−43 26 45	+18,4
33	η	Рыб	3,62	G8 III	30 08,5	+3,21	+15 13 03	+18,5
34	δ	Феникса	3,95	K0 III	30 12,7	+2,49	−49 12 08	+18,7
35	υ	Андромеды	4,10	F8 V	35 19,3	+3,53	+41 16 52	+18,0
36	51	Андромеды	3,57	K3 III	36 26,9	+3,70	+48 30 08	+18,2
37	α	Эридана	0,47	B5 IV	36 47,1	+2,23	−57 21 48	+18,3
38	ν	Рыб	4,44	K3 III	40 07,7	+3,13	+05 21 42	+18,2
39	φ	Персея	4,06	B1 (III, V)	42 05,0	+3,78	+50 33 49	+18,1
40	τ	Кита	3,50	G8 V	42 54,3	+2,79	−16 04 07	+18,9
41	ο	Рыб	4,26	G9 III	44 04,2	+3,17	+09 01 57	+18,1
42	ζ	Кита	3,72	K2 III	50 13,5	+2,96	−10 27 29	+17,7
43	α	Треугольника	3,42	F6 IV	51 39,1	+3,43	+29 27 28	+17,5
44	ε	Кассиопеи	3,38	B3 III	52 34,7	+4,35	+63 32 52	+17,7
45	ψ	Феникса	4,41	M4 III	52 38,7	+2,40	−46 25 29	+17,6
46	β	Овна	2,65	A5 V	53 15,3	+3,32	+20 41 11	+17,5
47	χ	Эридана	3,70	G5 IV	54 59,2	+2,33	−51 43 58	+17,9

Таблица 28а

постоянные (Бесселевы числа) для этих звезд на эпоху 1975,0

damental Catalog. Veröff. Astr. Rechen Inst. Heidelberg, No. 10,1—144, 1963) и
нент, cg — центр масс.

№	*a*	*b*	*c*	*d*	*a′*	*b′*	*c′*	*d′*
1	$+0^{s},153$	$-0^{s},007$	$+0^{s},067$	$+0^{s},000$	$+1'',000$	$-0'',003$	$+0'',431$	$-0'',107$
2	+0,154	+0,037	+0,076	+0,002	+1,000	−0,031	+0,364	+0,484
3	+0,157	+0,111	+0,129	+0,004	+0,999	−0,034	+0,194	+0,857
4	+0,151	−0,069	+0,096	+0,003	+0,999	−0,036	+0,327	−0,717
5	+0,154	+0,018	+0,069	+0,004	+0,999	−0,052	+0,405	+0,259
6	+0,157	+0,049	+0,083	+0,006	+0,997	−0,074	+0,304	+0,595
7	+0,152	−0,010	+0,067	+0,005	+0,997	−0,079	+0,441	−0,155
8	+0,142	−0,143	+0,157	+0,013	+0,997	−0,082	+0,257	−0,903
9	+0,122	−0,296	+0,304	+0,033	+0,994	−0,107	+0,199	−0,970
10	+0,147	−0,061	+0,090	+0,010	+0,994	−0,109	+0,394	−0,671
11	+0,171	+0,128	+0,144	+0,020	+0,991	−0,137	+0,076	+0,881
12	+0,160	+0,044	+0,079	+0,012	+0,988	−0,154	+0,276	+0,546
13	+0,167	+0,090	+0,111	+0,017	+0,988	−0,155	+0,132	+0,797
14	+0,159	+0,037	+0,075	+0,012	+0,987	−0,162	+0,300	+0,481
15	+0,160	+0,039	+0,076	+0,013	+0,986	−0,165	+0,288	+0,504
16	+0,170	+0,099	+0,119	+0,020	+0,985	−0,170	+0,099	+0,821
17	+0,149	−0,021	+0,069	+0,013	+0,983	−0,184	+0,469	−0,306
18	+0,167	+0,073	+0,098	+0,019	+0,982	−0,188	+0,149	+0,732
19	+0,159	+0,029	+0,072	+0,015	+0,980	−0,199	+0,314	+0,401
20	+0,155	+0,009	+0,066	+0,014	+0,979	−0,205	+0,403	+0,127
21	+0,181	+0,115	+0,132	+0,032	+0,971	−0,238	+0,005	+0,846
22	+0,166	+0,051	+0,083	+0,020	+0,971	−0,239	+0,192	+0,603
23	+0,160	+0,028	+0,070	+0,018	+0,970	−0,241	+0,303	+0,384
24	+0,144	−0,037	+0,074	+0,019	+0,969	−0,248	+0,499	−0,477
25	+0,156	+0,009	+0,065	+0,018	+0,964	−0,266	+0,394	+0,130
26	+0,429	+0,945	+0,947	+0,276	+0,960	−0,280	−0,250	+0,958
27	+0,150	−0,012	+0,065	+0,020	+0,957	−0,290	+0,478	−0,171
28	+0,167	+0,045	+0,078	+0,024	+0,956	−0,294	+0,183	+0,555
29	+0,165	+0,037	+0,073	+0,023	+0,953	−0,302	+0,225	+0,476
30	+0,150	−0,009	+0,063	+0,024	+0,935	−0,353	+0,480	−0,135
31	+0,195	+0,108	+0,125	+0,048	+0,933	−0,359	−0,095	+0,809
32	+0,130	−0,059	+0,085	+0,034	+0,928	−0,372	+0,570	−0,638
33	+0,160	+0,017	+0,064	+0,026	+0,924	−0,383	+0,318	+0,242
34	+0,124	−0,071	+0,094	+0,039	+0,924	−0,384	+0,574	−0,699
35	+0,177	+0,054	+0,081	+0,036	+0,915	−0,404	+0,059	+0,604
36	+0,184	+0,069	+0,092	+0,041	+0,913	−0,409	−0,019	+0,684
37	+0,111	−0,095	+0,113	+0,051	+0,912	−0,410	+0,579	−0,768
38	+0,156	+0,006	+0,061	+0,028	+0,906	−0,423	+0,392	+0,085
39	+0,188	+0,073	+0,095	+0,045	+0,902	−0,431	−0,057	+0,697
40	+0,145	−0,017	+0,063	+0,030	+0,901	−0,434	+0,537	−0,249
41	+0,158	+0,010	+0,061	+0,030	+0,899	−0,439	+0,359	+0,141
42	+0,148	−0,011	+0,060	+0,031	+0,887	−0,463	+0,510	−0,161
43	+0,171	+0,033	+0,068	+0,036	+0,884	−0,468	+0,147	+0,435
44	+0,216	+0,118	+0,132	+0,071	+0,882	−0,472	−0,229	+0,789
45	+0,120	−0,062	+0,085	+0,046	+0,882	−0,472	+0,641	−0,639
46	+0,165	+0,022	+0,063	+0,034	+0,880	−0,474	+0,238	+0,311
47	+0,113	−0,074	+0,094	+0,052	+0,877	−0,481	+0,646	−0,688

№		Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
48	α	Южной Гидры	$2^m,86$	F0 V	$57^m59^s,0$	$+1^s,89$	−61° 41′ 28″	+17″,5
49	υ	Кита	4,01	M1 III	58 49,6	+2,83	−21 11 54	+17,4
50	50	Кассиопеи	3,98	A2 V	2 01 16,0	+5,18	+72 18 05	+17,3
51	γ	Андромеды pr	2,10	K3 II	02 21,4	+3,69	+42 12 38	+17,2
52	α	Овна	2,00	K2 III	05 45,6	+3,39	+23 20 42	+17,0
53	α	М. Медведицы	2,02	F8 Ib	07 26,5	+5,08	+89 09 00	+17,0
54	β	Треугольника	3,00	A5 III	08 03,0	+3,58	+34 52 11	+17,0
55	ξ¹	Кита	4,37	G8 II	11 40,3	+3,18	+08 43 49	+16,8
56	φ	Эридана	3,56	B8 V	15 37,0	+2,14	−51 37 39	+16,6
57	γ	Треугольника	4,01	A1 V	15 49,3	+3,58	+33 43 57	+16,6
58	δ	Южной Гидры	4,08	A2 V	21 18,0	+1,08	−68 46 23	+16,4
59	ϰ	Эридана	4,25	B5 IV	26 04,1	+2,20	−47 48 56	+16,1
60	ξ²	Кита	4,29	B9 III	26 49,6	+3,19	+08 20 56	+16,1
61	δ	Кита	4,06	B2 IV	38 11,9	+3,08	+00 13 17	+15,5
62	ε	Южной Гидры	4,10	B9 III	39 12,0	+0,93	−68 22 26	+15,4
63	ι	Эридана	4,11	K0 III	39 40,8	+2,37	−39 57 42	+15,3
64	θ	Персея	4,13	F7 V	42 28,9	+4,11	+49 07 26	+15,1
65	π	Кита	4,25	B7 V	42 55,9	+2,86	−13 57 50	+15,2
66	μ	Кита	4,27	F0 IV	43 35,2	+3,25	+10 00 34	+15,1
67	β	Печи	4,46	G6 III	48 02,6	+2,51	−32 30 37	+15,0
68	c	Овна	3,63	B8 V	48 30,4	+3,54	+27 09 30	+14,8
69	η	Персея	3,77	K3 Ib	48 51,6	+4,40	+55 47 35	+14,8
70	16	Персея	4,23	F2 III	48 59,4	+3,78	+38 13 04	+14,8
71	τ	Персея	3,95	G4 III	52 28,4	+4,27	+52 39 41	+14,6
72	η	Эридана	3,87	K1 III	55 12,2	+2,93	−08 59 49	+14,2
73	θ	Эридана pr	2,91	A3 V	57 18,7	+2,27	−40 24 15	+14,4
74	α	Кита	2,53	M2 III	3 00 58,2	+3,14	+03 59 33	+14,0
75	τ³	Эридана	4,09	A4 V	01 17,3	+2,65	−23 43 18	+14,0
76	γ	Персея	2,93	G8 III	02 58,5	+4,36	+53 24 35	+14,0
77	ρ	Персея	3,39	M4 II	03 34,1	+3,85	+38 44 40	+13,8
78	β	Персея	2,12	B8 V	06 32,1	+3,91	+40 51 38	+13,8
79	ι	Персея	4,05	G0 V	07 15,2	+4,34	+49 31 09	+13,6
80	δ	Овна	4,34	K2 III	10 11,7	+3,44	+19 37 59	+13,5
81	999	Овна	4,47	K3 II	18 49,3	+3,64	+28 57 34	+13,0
82	e	Эридана	4,27	G5 V	18 55,7	+2,40	−43 09 52	+13,7
83	α	Персея	1,80	F5 Ib	22 31,7	+4,30	+49 46 25	+12,7
84	o	Тельца	3,60	G8 III	23 27,9	+3,23	+08 56 31	+12,6
85	ξ	Тельца	3,75	B8 V	25 48,7	+3,26	+09 38 48	+12,5
86	35	Жирафа	4,21	B9 Ia	27 01,8	+4,88	+59 51 17	+12,4
87	σ	Персея	4,35	K3 III	28 48,2	+4,24	+47 54 37	+12,3
88	f	Тельца	4,10	K0 II	29 29,4	+3,32	+12 51 07	+12,2
89	ε	Эридана	3,73	K2 V	31 45,0	+2,83	−09 32 31	+12,1
90	τ⁵	Эридана	4,28	B8 V	32 40,9	+2,65	−21 42 57	+12,0
91	10	Тельца	4,28	F8 V	35 35,7	+3,06	+00 19 24	+11,3
92	δ	Персея	3,01	B5 III	41 08,2	+4,28	+47 42 32	+11,4
93	δ	Эридана	3,54	K0 IV	42 02,9	+2,88	−09 50 50	+12,1
94	17	Тельца	3,70	B6 III	43 23,2	+3,57	+24 02 09	+11,2
95	ν	Персея	3,77	F5 II	43 29,3	+4,09	+42 30 03	+11,2
96	β	Сетки	3,84	K0 IV	43 52,9	+0,76	−64 53 08	+11,3
97	τ⁶	Эридана	4,23	F3 V	45 46,2	+2,58	−23 19 22	+10,6
98	η	Тельца	2,87	B7 III	45 59,7	+3,57	+24 01 44	+11,0
99	27	Тельца	3,62	B8 III	47 40,3	+3,57	+23 58 41	+10,9
100	γ	Южной Гидры	3,23	M0 III	47 36,7	−0,90	−74 18 57	+11,1
101	g	Эридана	4,17	G5 III	48 31,0	+2,25	−36 16 31	+10,8

№	a	b	c	d	a′	b′	c′	d′
48	$+0^{s},092$	$-0^{s},108$	$+0^{s},122$	$+0^{s},069$	$+0'',870$	$-0'',492$	$+0'',639$	$-0'',766$
49	+0,140	−0,022	+0,062	+0,035	+0,869	−0,496	+0,583	−0,314
50	+0,259	+0,180	+0,189	+0,111	+0,863	−0,505	−0,349	+0,822
51	+0,184	+0,052	+0,077	+0,046	+0,861	−0,509	−0,021	+0,578
52	+0,168	+0,025	+0,062	+0,038	+0,853	−0,522	+0,191	+0,338
53	+0,025	+0,038	+0,038	+0,024	+0,849	−0,528	−0,521	+0,849
54	+0,178	+0,039	+0,069	+0,043	+0,848	−0,530	+0,053	+0,485
55	+0,159	+0,009	+0,057	+0,037	+0,839	−0,543	+0,346	+0,127
56	+0,106	−0,070	+0,089	+0,060	+0,830	−0,558	+0,706	−0,651
57	+0,178	+0,037	+0,066	+0,045	+0,829	−0,559	+0,050	+0,461
58	+0,054	−0,140	+0,150	+0,106	+0,816	−0,578	+0,696	−0,761
59	+0,110	−0,059	+0,080	+0,059	+0,804	−0,595	+0,732	−0,596
60	+0,159	+0,008	+0,054	+0,040	+0,802	−0,598	+0,342	+0,116
61	+0,153	+0,000	+0,051	+0,042	+0,771	−0,637	+0,431	+0,003
62	+0,046	−0,129	+0,139	+0,116	+0,768	−0,640	+0,755	−0,714
63	+0,117	−0,043	+0,067	+0,056	+0,767	−0,642	+0,745	−0,493
64	+0,203	+0,058	+0,077	+0,066	+0,759	−0,651	−0,209	+0,574
65	+0,142	−0,013	+0,052	+0,045	+0,758	−0,653	+0,578	−0,183
66	+0,161	+0,009	+0,051	+0,044	+0,756	−0,655	+0,313	+0,131
67	+0,125	−0,032	+0,059	+0,053	+0,743	−0,669	+0,725	−0,399
68	+0,176	+0,025	+0,056	+0,050	+0,742	−0,671	+0,080	+0,339
69	+0,219	+0,073	+0,088	+0,080	+0,741	−0,672	−0,312	+0,613
70	+0,189	+0,039	+0,063	+0,057	+0,740	−0,672	−0,075	+0,458
71	+0,213	+0,064	+0,080	+0,075	+0,730	−0,684	−0,280	+0,580
72	+0,146	−0,008	+0,049	+0,047	+0,722	−0,692	+0,537	−0,113
73	+0,114	−0,041	+0,063	+0,061	+0,715	−0,699	+0,783	−0,464
74	+0,157	+0,003	+0,047	+0,047	+0,704	−0,710	+0,383	+0,049
75	+0,132	−0,021	+0,051	+0,052	+0,703	−0,711	+0,683	−0,283
76	+0,213	+0,063	+0,078	+0,080	+0,698	−0,716	−0,317	+0,560
77	+0,192	+0,037	+0,059	+0,061	+0,696	−0,718	−0,111	+0,436
78	+0,195	+0,040	+0,061	+0,064	+0,687	−0,727	−0,148	+0,449
79	+0,210	+0,053	+0,070	+0,075	+0,684	−0,729	−0,273	+0,521
80	+0,171	+0,016	+0,048	+0,052	+0,675	−0,738	+0,160	+0,227
81	+0,181	+0,024	+0,049	+0,058	+0,647	−0,763	+0,010	+0,313
82	+0,106	−0,040	+0,059	+0,070	+0,646	−0,763	+0,838	−0,442
83	+0,214	+0,050	+0,065	+0,080	+0,634	−0,773	−0,310	+0,484
84	+0,161	+0,007	+0,043	+0,052	+0,631	−0,776	+0,308	+0,098
85	+0,162	+0,007	+0,042	+0,053	+0,623	−0,782	+0,296	+0,104
86	+0,243	+0,071	+0,082	+0,104	+0,619	−0,785	−0,461	+0,535
87	+0,212	+0,045	+0,061	+0,079	+0,613	−0,790	−0,296	+0,455
88	+0,165	+0,009	+0,042	+0,054	+0,611	−0,792	+0,247	+0,136
89	+0,144	−0,007	+0,041	+0,054	+0,603	−0,798	+0,560	−0,100
90	+0,132	−0,016	+0,043	+0,057	+0,599	−0,800	+0,699	−0,222
91	+0,154	+ 0	+0,039	+0,054	+0,589	−0,808	+0,429	+0,003
92	+0,214	+0,042	+0,056	+0,081	+0,570	−0,822	−0,316	+0,421
93	+0,144	−0,007	+0,038	+0,056	+0,566	−0,824	+0,568	−0,097
94	+0,178	+0,017	+0,041	+0,060	+0,561	−0,828	+0,059	+0,229
95	+0,204	+0,034	+0,051	+0,075	+0,561	−0,828	−0,240	+0,379
96	+0,035	−0,080	+0,088	+0,130	+0,560	−0,829	+0,934	−0,507
97	+0,129	−0,016	+0,040	+0,060	+0,553	−0,833	+0,728	−0,219
98	+0,178	+0,016	+0,040	+0,061	+0,552	−0,834	+0,056	+0,225
99	+0,178	+0,016	+0,040	+0,061	+0,546	−0,838	+0,056	+0,222
100	−0,046	−0,130	+0,135	+0,207	+0,546	−0,838	+0,924	−0,526
101	+0,112	−0,027	+0,045	+0,069	+0,543	−0,840	+0,847	−0,321

№	Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
102	ζ Персея	$2^m,85$	B1 Ib	$3^h52^m33^s,3$	$+3^s,78$	+31° 48′ 38″	+10″,6
103	ε Персея	2,89	B0,5 V	56 10,2	+4,03	+39 56 21	+10,3
104	γ Эридана	2,94	M0 III	56 51,7	+2,80	−13 34 43	+10,1
105	ξ Персея	4,04	O7	57 20,3	+3,90	+35 43 14	+10,2
106	λ Тельца	3,41	B3 V	59 17,5	+3,33	+12 25 15	+10,1
107	ν Тельца	3,91	A1 V	4 01 49,4	+3,19	+05 55 16	+9,9
108	A^1 Тельца	4,37	K0 III	03 12,8	+3,55	+22 00 53	+9,7
109	λ Персея	4,29	A0 IV	04 42,8	+4,48	+50 17 06	+9,6
110	MX Персея	4,03	B3 V	06 50,4	+4,37	+47 38 50	+9,5
111	o^1 Эридана	4,05	F2 II	10 38,6	+2,93	−06 54 06	+9,3
112	μ Персея	4,14	G0 Ib	13 03,3	+4,42	+48 20 51	+9,0
113	α Часов	3,86	K1 III	13 10,3	+1,99	−42 21 20	+8,8
114	α Сетки	3,34	G6 II	14 06,0	+0,78	−62 32 10	+9,0
115	μ Тельца	4,30	B3 V	14 10,4	+3,26	+08 49 51	+8,9
116	γ Золотой Рыбы	4,24	F5 V	15 22,2	+1,57	−51 32 57	+9,0
117	γ Тельца	3,65	K0 III	18 22,1	+3,42	+15 34 06	+8,6
118	δ Тельца	3,76	K1 III	21 29,4	+3,46	+17 29 06	+8,3
119	υ^3 Эридана	3,96	K5 III	23 05,8	+2,25	−34 04 27	+8,3
120	υ Тельца	4,28	A8 V	24 48,3	+3,59	+22 45 32	+8,1
121	ε Тельца	3,54	K0 III	27 09,2	+3,51	+19 07 34	+7,9
122	α Золотой Рыбы	3,26	A0 III	33 27,3	+1,30	−55 05 46	+7,4
123	α Тельца	0,86	K5 III	34 29,0	+3,45	+16 27 37	+7,1
124	υ^2 Эридана	3,82	K0 III	34 34,6	+2,33	−30 36 46	+7,3
125	e Персея	4,27	K4 III	34 57 1	+4,16	+41 12 56	+7,3
126	ν Эридана	3,92	B2 III	35 04,1	+3,00	−03 24 09	+7,3
127	c^1 Тельца	4,27	A6 V	36 45,2	+3,35	+12 27 44	+7,1
128	l Эридана	3,87	K2 III	37 02,0	+2,75	−14 21 07	+6,9
129	α Резца	4,45	F2 V	39 45,3	+1,93	−41 54 39	+6,8
130	τ Тельца	4,29	B3 V	40 44,5	+3,60	+22 54 37	+6,8
131	μ Эридана	4,02	B5 IV	44 15,0	+3,00	−03 17 58	+6,5
132	π^3 Ориона	3,19	F6 V	48 28,8	+3,26	+06 55 08	+6,2
133	π^4 Ориона	3,68	B2 III	49 52,3	+3,20	+05 33 49	+6,0
134	α Жирафа	4,29	O9,5 Ia	51 33,2	+5,98	+66 18 09	+5,9
135	ω Эридана	4,40	A9 IV	51 39,9	+2,95	−05 29 36	+5,9
136	π^5 Ориона	3,73	B2 III	52 56,8	+3,13	+02 24 03	+5,8
137	ι Возничего	2,69	K3 II	55 21,7	+3,91	+33 07 41	+5,6
138	ε Возничего	2,99	F0 Ia	5 00 10,2	+4,31	+43 47 16	+5,2
139	ζ Возничего	3,73	K5 II	00 43,6	+4,20	+41 02 27	+5,1
140	β Жирафа	4,03	G0 Ib	01 11,2	+5,35	+60 24 28	+5,1
141	ε Зайца	3,19	K5 III	04 24,1	+2,54	−22 24 13	+4,7
142	η Возничего	3,18	B3 V	04 45,5	+4,21	+41 12 08	+4,7
143	β Эридана	2,79	A3 III	06 37,1	+2,95	−05 07 04	+4,5
144	λ Эридана	4,27	B2 IV	07 56,9	+2,87	−08 47 06	+4,5
145	μ Зайца	3,29	B9 III	11 48,4	+2,70	−16 14 03	+4,2
146	β Ориона	0,13	B8 Ia	13 20,1	+2,88	−08 13 46	+4,1
147	α Возничего	0,08	G8 III:	14 50,3	+4,44	+45 58 28	+3,5
148	τ Ориона	3,59	B5 III	16 23,4	+2,91	−06 52 13	+3,8
149	λ Зайца	4,29	B0,5 IV	18 25,3	+2,76	−13 12 06	+3,6
150	γ Ориона	1,64	B2 III	23 47,3	+3,22	+06 19 42	+3,1
151	β Тельца	1,65	B7 III	24 42,6	+3,80	+28 35 16	+2,9
152	β Зайца	2,84	G5 III	27 10,4	+2,57	−20 46 42	+2,8
153	ε Голубя	3,87	K1 II	30 19,4	+2,13	−35 29 15	+2,6
154	δ Ориона	2,24	O9,5 II	30 43,7	+3,07	−00 18 59	+2,6
155	α Зайца	2,57	F0 Ib	31 37,6	+2,65	−17 50 21	+2,5

№	a	b	c	d	a'	b'	c'	d'
102	$+0^s,188$	$+0^s,022$	$+0^s,041$	$+0^s,067$	$+0'',528$	$-0'',849$	$-0'',079$	$+0'',278$
103	+0,201	+0,029	+0,045	+0,075	+0,514	−0,858	−0,218	+0,330
104	+0,139	−0,008	+0,035	+0,059	+0,512	−0,859	+0,623	−0,120
105	+0,195	+0,024	+0,042	+0,071	+0,510	−0,860	−0,150	+0,298
106	+0,166	+0,007	+0,034	+0,059	+0,503	−0,864	+0,238	+0,108
107	+0,159	+0,003	+0,033	+0,058	+0,493	−0,870	+0,342	+0,051
108	+0,177	+0,013	+0,035	+0,063	+0,488	−0,873	+0,075	+0,183
109	+0,224	+0,039	+0,050	+0,091	+0,482	−0,876	−0,397	+0,371
110	+0,218	+0,035	+0,047	+0,087	+0,474	−0,881	−0,359	+0,350
111	+0,146	−0,004	+0,031	+0,060	+0,459	−0,888	+0,537	−0,055
112	+0,220	+0,034	+0,045	+0,090	+0,450	−0,893	−0,379	+0,336
113	+0,099	−0,027	+0,041	+0,081	+0,449	−0,893	+0,922	−0,303
114	+0,038	−0,057	+0,064	+0,129	+0,446	−0,895	+0,994	−0,396
115	+0,163	+0,005	+0,030	+0,060	+0,446	−0,895	+0,291	+0,068
116	+0,078	−0,037	+0,047	+0,096	+0,441	−0,898	+0,973	−0,345
117	+0,170	+0,008	+0,030	+0,063	+0,429	−0,903	+0,175	+0,115
118	+0,172	+0,009	+0,029	+0,064	+0,417	−0,909	+0,140	+0,125
119	+0,112	−0,019	+0,033	+0,073	+0,410	−0,912	+0,870	−0,230
120	+0,179	+0,011	+0,029	+0,066	+0,404	−0,915	+0,046	+0,156
121	+0,175	+0,009	+0,028	+0,065	+0,394	−0,919	+0,109	+0,129
122	+0,064	−0,035	+0,043	+0,108	+0,369	−0,930	+1,010	−0,302
123	+0,172	+0,007	+0,025	+0,065	+0,365	−0,931	+0,152	+0,103
124	+0,117	−0,014	+0,028	+0,072	+0,364	−0,931	+0,847	−0,185
125	+0,208	+0,021	+0,032	+0,083	+0,363	−0,932	−0,288	+0,239
126	+0,150	−0,001	+0,024	+0,062	+0,362	−0,932	+0,488	−0,021
127	+0,167	+0,005	+0,024	+0,064	+0,355	−0,935	+0,222	+0,077
128	+0,137	−0,006	+0,024	+0,064	+0,354	−0,935	+0,652	−0,088
129	+0,097	−0,021	+0,031	+0,084	+0,343	−0,939	+0,950	−0,229
130	+0,180	+0,010	+0,025	+0,068	+0,339	−0,941	+0,033	+0,132
131	+0,150	−0,001	+0,022	+0,063	+0,325	−0,946	+0,487	−0,019
132	+0,161	+0,002	+0,021	+0,064	+0,307	−0,952	+0,316	+0,037
133	+0,159	+0,002	+0,020	+0,064	+0,301	−0,954	+0,339	+0,029
134	+0,298	+0,045	+0,049	+0,159	+0,294	−0,956	−0,701	+0,269
135	+0,147	−0,002	+0,020	+0,064	+0,294	−0,956	+0,523	−0,028
136	+0,156	+0,001	+0,019	+0,064	+0,288	−0,958	+0,393	+0,012
137	+0,195	+0,012	+0,022	+0,076	+0,278	−0,960	−0,162	+0,152
138	+0,215	+0,016	+0,024	+0,089	+0,258	−0,966	−0,356	+0,179
139	+0,209	+0,015	+0,023	+0,085	+0,256	−0,967	−0,308	+0,168
140	+0,267	+0,030	+0,034	+0,131	+0,254	−0,967	−0,627	+0,221
141	+0,127	−0,007	+0,017	+0,070	+0,240	−0,971	+0,771	−0,092
142	+0,210	+0,014	+0,021	+0,086	+0,239	−0,971	−0,313	+0,157
143	+0,147	−0,001	+0,015	+0,065	+0,231	−0,973	+0,519	−0,021
144	+0,143	−0,002	+0,015	+0,066	+0,225	−0,974	+0,577	−0,034
145	+0,134	−0,004	+0,014	+0,068	+0,209	−0,978	+0,690	−0,058
146	+0,144	−0,002	+0,014	+0,066	+0,202	−0,979	+0,569	−0,029
147	+0,221	+0,014	+0,019	+0,094	+0,196	−0,981	−0,404	+0,141
148	+0,145	−0,002	+0,013	+0,066	+0,189	−0,982	+0,548	−0,023
149	+0,138	−0,003	+0,012	+0,067	+0,180	−0,984	+0,647	−0,041
150	+0,161	+0,001	+0,011	+0,066	+0,157	−0,988	+0,322	+0,017
151	+0,189	+0,006	+0,012	+0,075	+0,153	−0,988	−0,092	+0,073
152	+0,128	−0,004	+0,010	+0,071	+0,143	−0,990	+0,757	−0,051
153	+0,106	−0,006	+0,011	+0,081	+0,129	−0,992	+0,929	−0,075
154	+0,153	− 0	+0,008	+0,066	+0,127	−0,992	+0,439	−0,001
155	+0,132	−0,003	+0,009	+0,069	$+0'',123$	−0,992	+0,717	−0,038

№	Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
156	β Золотой Рыбы	$3^m,40$	F8 Ia	$5^h33^m24^s,4$	$+0^s,52$	−62° 30′ 22″	+2″,3
157	φ^1 Ориона	4,41	B0 IV	33 26,8	+3,30	+09 28 26	+2,3
158	ι Ориона	2,77	O9 III	34 12,5	+2,94	−05 55 31	+2,3
159	ε Ориона	1,69	B0 Ia	34 56,6	+3,05	−01 13 00	+2,2
160	ζ Тельца	3,03	B2 III:	36 08,9	+3,59	+21 07 43	+2,1
161	α Голубя	2,64	B8 V	38 44,5	+2,17	−34 05 12	+1,8
162	γ Зайца	3,60	F6 V	43 25,2	+2,50	−22 27 20	+1,1
163	δ Золотой Рыбы	4,34	A6 IV	44 43,7	+0,11	−65 44 42	+1,3
164	ζ Зайца	3,55	A3 V	45 49,3	+2,72	−14 49 49	+1,2
165	ϰ Ориона	2,05	B0,5 Ia	46 34,2	+2,85	−09 40 39	+1,2
166	γ Живописца	4,50	K1 III	49 22,3	+1,09	−56 10 21	+0,9
167	ν Возничего	3,97	K0 III	49 45,3	+4,16	+39 08 34	+0,9
168	β Голубя	3,12	K2 III	50 04,6	+2,12	−35 46 37	+1,3
169	δ Зайца	3,85	G8 III	50 14,7	+2,58	−20 52 49	+0,2
170	α Ориона	0,42	M2 Ia	53 49,0	+3,25	+07 24 13	+0,6
171	η Зайца	3,72	F0 V	55 15,9	+2,73	−14 10 17	+0,6
172	γ Голубя	4,36	B3 IV	56 39,0	+2,13	−35 17 07	+0,3
173	δ Возничего	3,72	K0 III	57 28,0	+4,94	+54 17 05	+0,1
174	β Возничего	1,90	A2 V	57 41,6	+4,40	+44 56 48	+0,2
175	η Голубя	3,96	K0 III	58 22,8	+1,84	−42 48 57	+0,1
176	1 Близнецов	4,15	G5 II	6 02 36,0	+3,65	+23 15 58	−0,3
177	ν Ориона	4,42	B3 V	06 08,6	+3,43	+14 46 22	−0,6
178	γ Единорога	3,96	K3 III	13 38,1	+2,93	−06 15 56	−1,2
179	ϰ Возничего	3,28	G8 III	13 47,1	+3,82	+29 30 31	−1,5
180	ϰ Голубя	4,37	G8 III	15 39,6	+2,13	−35 07 53	−1,3
181	2 Рыси	4,48	A2 V	17 25,1	+5,29	+59 01 19	−1,5
182	ζ Большого Пса	3,02	B2,5 V	19 21,1	+2,30	−30 03 05	−1,7
183	μ Близнецов	2,87	M3 III	21 26,8	+3,63	+22 31 40	−2,0
184	β Большого Пса	1,97	B1 II	21 35,8	+2,64	−17 56 33	−1,9
185	ε Единорога	4,31	A5 IV	22 26,5	+3,18	+04 36 24	−1,9
186	α Киля	−0,73	F0 Ib	23 23,8	+1,33	−52 40 53	−2,0
187	ν Близнецов	4,14	B7 IV	27 28,7	+3,56	+20 13 45	−2,4
188	13 Единорога	4,50	A0 Ib	31 33,1	+3,24	+07 21 09	−2,8
189	N Киля	4,38	B9 III	34 25,5	+1,32	−52 57 17	−3,0
190	ν^2 Большого Пса	3,92	K1 IV	35 35,4	+2,61	−19 13 58	−3,1
191	γ Близнецов	1,92	A1 IV	36 16,0	+3,47	+16 25 19	−3,2
192	ν Кормы	3,17	B8 III	36 59,7	+1,84	−43 10 24	−3,2
193	ε Близнецов	2,98	G8 Ib	42 23,6	+3,69	+25 09 26	−3,7
194	ξ Близнецов	3,36	F5 IV	43 53,1	+3,37	+12 55 26	−4,0
195	α Большого Пса	−1,46	A1 V	44 02,8	+2,64	−16 40 51	−5,0
196	18 Единорога	4,46	K0 III	46 33,4	+3,13	+02 26 26	−4,1
197	α Живописца	3,26	A5 V	47 56,1	+0,6	−61 54 51	−3,9
198	ϰ Большого Пса	3,95	B2 V	48 54,4	+2,24	−32 28 44	−4,2
199	τ Кормы	2,92	K0 III	49 18,9	+1,49	−50 35 04	−4,4
200	θ Близнецов	3,60	A3 III	51 08,5	+3,95	+33 59 34	−4,5
201	θ Большого Пса	4,08	K4 III	53 01,6	+2,79	−12 00 23	−4,6
202	ι Большого Пса	4,37	B3 II	55 01,2	+2,68	−17 01 14	−4,8
203	ε Большого Пса	1,50	B2 II	57 38,5	+2,36	−28 56 14	−5,0
204	σ Большого Пса	3,43	M0 Ia	7 00 43,3	+2,39	−27 53 53	−5,2
205	o^2 Большого Пса	3,01	B3 Ia	01 58,8	+2,51	−23 47 45	−5,4
206	ζ Близнецов	3,7	F7 Ib	02 37,6	+3,56	+20 36 30	−5,4
207	γ Большого Пса	4,12	B8 II	02 37,6	+2,71	−15 35 43	−5,4
208	δ Большого Пса	1,84	F8 Ia	07 22,4	+2,44	−26 21 09	−5,8
209	γ^2 Летучей Рыбы	3	G8 III	08 58,0	−0,52	−70 27 31	−5,8

№	a	b	c	d	a′	b′	c′	d′
156	$+0^s,026$	$-0^s,015$	$+0^s,017$	$+0^s,143$	$+0'',116$	$-0'',993$	$+1'',081$	$-0'',103$
157	+0,164	+0,001	+0,008	+0,067	+0,116	−0,993	+0,264	+0,019
158	+0,146	−0,001	+0,008	+0,067	+0,112	−0,994	+0,534	−0,012
159	+0,152	− 0	+0,007	+0,066	+0,109	−0,994	+0,455	−0,002
160	+0,179	+0,003	+0,007	+0,071	+0,104	−0,995	+0,046	+0,037
161	+0,108	−0,004	+0,007	+0,080	+0,093	−0,996	+0,917	−0,052
162	+0,126	−0,002	+0,005	+0,072	+0,072	−0,997	+0,782	−0,028
163	+0,006	−0,010	+0,011	+0,162	+0,067	−0,998	+1,088	−0,061
164	+0,136	−0,001	+0,004	+0,069	+0,062	−0,998	+0,675	−0,016
165	+0,142	−0,001	+0,004	+0,068	+0,059	−0,998	+0,595	−0,010
166	+0,054	−0,005	+0,006	+0,120	+0,046	−0,999	+1,071	−0,039
167	+0,207	+0,002	+0,004	+0,086	+0,045	−0,999	−0,291	+0,028
168	+0,105	−0,002	+0,004	+0,082	+0,043	−0,999	+0,936	−0,025
169	+0,128	−0,001	+0,003	+0,071	+0,043	−0,999	+0,761	−0,015
170	+0,162	+ 0	+0,002	+0,067	+0,027	−1,000	+0,301	+0,035
171	+0,136	− 0	+0,001	+0,069	+0,021	−1,000	+0,665	−0,005
172	+0,106	−0,001	+0,001	+0,082	+0,015	−1,000	+0,932	−0,008
173	+0,246	+0,001	+0,001	+0,114	+0,011	−1,000	−0,559	+0,009
174	+0,220	+0,001	+0,001	+0,094	+0,010	−1,000	−0,400	+0,007
175	+0,092	− 0	+0,001	+0,091	+0,007	−1,000	+0,998	−0,005
176	+0,182	− 0	−0,001	+0,073	−0,011	−1,000	+0,003	−0,004
177	+0,171	− 0	−0,002	+0,069	−0,027	−1,000	+0,164	−0,007
178	+0,146	+ 0	−0,004	+0,067	−0,059	−0,998	+0,540	+0,006
179	+0,191	−0,002	−0,005	+0,076	−0,060	−0,998	−0,114	−0,030
180	+0,106	+0,003	−0,006	+0,081	−0,068	−0,998	+0,929	+0,039
181	+0,264	−0,008	−0,010	+0,129	−0,076	−0,997	−0,632	−0,065
182	+0,115	+0,003	−0,006	+0,077	−0,084	−0,996	+0,874	+0,042
183	+0,181	−0,003	−0,007	+0,072	−0,093	−0,996	+0,019	−0,036
184	+0,132	+0,002	−0,007	+0,070	−0,094	−0,996	+0,719	+0,029
185	+0,159	−0,001	−0,007	+0,067	−0,098	−0,995	+0,352	−0,008
186	+0,066	+0,009	−0,011	+0,109	−0,102	−0,995	+1,054	+0,081
187	+0,178	−0,003	−0,008	+0,071	−0,120	−0,993	+0,064	−0,041
188	+0,162	−0,001	−0,009	+0,067	−0,137	−0,991	+0,303	−0,018
189	+0,066	+0,013	−0,017	+0,109	−0,150	−0,989	+0,011	+0,119
190	+0,130	+0,004	−0,011	+0,070	−0,155	−0,988	+0,735	+0,051
191	+0,173	−0,003	−0,011	+0,069	−0,158	−0,988	+0,137	−0,045
192	+0,092	+0,010	−0,015	+0,090	−0,161	−0,987	+0,992	+0,110
193	+0,184	−0,006	−0,014	+0,072	−0,184	−0,983	−0,025	−0,078
194	+0,168	−0,003	−0,013	+0,067	−0,190	−0,982	+0,203	−0,043
195	+0,134	+0,004	−0,013	+0,068	−0,191	−0,982	+0,697	+0,055
196	+0,156	−0,001	−0,013	+0,065	−0,202	−0,979	+0,392	−0,009
197	+0,031	+0,026	−0,029	+0,139	−0,208	−0,978	+1,067	+0,183
198	+0,112	+0,009	−0,017	+0,077	−0,212	−0,977	+0,891	+0,114
199	+0,074	+0,017	−0,022	+0,103	−0,214	−0,977	+1,030	+0,165
200	+0,197	−0,010	−0,018	+0,078	−0,221	−0,975	−0,186	−0,124
201	+0,139	+0,003	−0,016	+0,066	−0,229	−0,973	+0,627	+0,048
202	+0,133	+0,005	−0,017	+0,068	−0,238	−0,971	+0,699	+0,070
203	+0,118	+0,009	−0,019	+0,074	−0,249	−0,969	+0,848	+0,120
204	+0,119	+0,009	−0,020	+0,073	−0,262	−0,965	+0,835	+0,123
205	+0,125	+0,008	−0,019	+0,070	−0,267	−0,964	+0,786	+0,108
206	+0,177	−0,007	−0,019	+0,069	−0,270	−0,963	+0,067	−0,095
207	+0,135	+0,005	−0,019	+0,067	−0,270	−0,963	+0,677	+0,073
208	+0,122	+0,010	−0,022	+0,071	−0,290	−0,957	+0,813	+0,129
209	−0,026	+0,056	−0,059	+0,190	−0,296	−0,955	+1,045	+0,279

№	Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
210	δ Единорога	$4^m,15$	A2 V	$7^h10^m35^s,2$	$+3^s,06$	−00° 27′ 01″	−6″,1
211	I Кормы	4,49	F0 V	11 50,8	+1,71	−46 43 01	−6,1
212	π Кормы	2,70	K4 III	16 15,5	+2,12	−37 03 07	−6,5
213	λ Близнецов	3,58	A3 V	16 39,4	+3,45	+16 35 12	−6,6
214	δ Летучей Рыбы	3,97	F8 II	16 50,8	−0,04	−67 54 42	−6,6
215	δ Близнецов	3,53	F0 IV	18 37,8	+3,58	+22 01 47	−6,8
216	η Большого Пса	2,44	B5 Ia	23 06,3	+2,37	−29 15 13	−7,1
217	ι Близнецов	3,79	K0 III	24 10,5	+3,72	+27 50 57	−7,3
218	β Малого Пса	2,89	B8 V	25 47,7	+3,25	+08 20 27	−7,4
219	ρ Близнецов	4,18	F0 V	27 30,3	+3,86	+31 50 08	−7,3
220	σ Кормы	3,25	K5 III	28 26,2	+1,90	−43 15 01	−7,4
221	2906 Кормы	4,45	F5 V	32 58,9	+2,57	−22 14 29	−7,9
222	α Близнецов cg	1,58	A1 V	33 00,3	+3,83	+31 56 40	−8,0
223	υ Близнецов	4,06	K5 III	34 23,0	+3,69	+26 57 09	−8,1
224	α Малого Пса	0,37	F5 IV	37 59,6	+3,14	+05 17 25	−9,3
225	α Единорога	3,93	K0 III	40 03,1	+2,87	−09 29 31	−8,5
226	ζ Летучей Рыбы	3,94	K0 III	42 08,3	−0,75	−72 32 47	−8,6
227	3 Кормы	3,95	A3 II	42 48,2	+2,41	−28 53 38	−8,7
228	ϰ Близнецов	3,57	G8 III	42 56,4	+3,62	+24 27 33	−8,8
229	β Близнецов	1,14	K0 III	43 47,2	+3,67	+28 05 16	−8,8
230	c Кормы	3,61	K1	44 21,8	+2,14	−37 54 25	−8,8
231	ξ Кормы	3,35	G3 Ib	48 14,5	+2,52	−24 47 46	−9,1
232	α Кормы	3,73	G5 III	51 21,4	+2,06	−40 30 38	−9,4
233	e Кормы	4,20	F8 II	55 47,0	+2,58	−22 48 44	−9,7
234	χ Киля	3,46	B2 IV	56 08,6	+1,52	−52 54 53	−9,7
235	ζ Кормы	2,25	O5	8 02 42,3	+2,11	−39 55 55	−10,2
236	ρ Кормы	2,81	F6 II	06 28,7	+2,56	−24 13 53	−10,5
237	16 Кормы	4,40	B5 V	07 54,6	+2,68	−19 10 15	−10,6
238	γ Парусов	1,83	WC7	08 45,7	+1,85	−47 15 44	−10,7
239	β Рака	3,53	K4 III	15 09,6	+3,25	+09 15 49	−11,2
240	q Кормы	4,45	A7 III	17 37,1	+2,25	−36 34 52	−11,2
241	31 Рыси	4,25	K5 III	21 07,7	+4,10	+43 16 10	−11,7
242	θ Хамелеона	4,34	K0 III	21 25,3	−1,84	−77 24 16	−11,6
243	ε Киля	1,85	K0 II	22 00,1	+1,23	−59 25 43	−11,6
244	30 Единорога	3,90	A0 V	24 24,7	+3,00	−03 49 26	−11,8
245	β Летучей Рыбы	3,76	K2 III	25 28,2	+0,65	−66 03 12	−12,0
246	o Б. Медведицы	3,36	G5 II	28 12,0	+4,96	+60 48 12	−12,2
247	δ Гидры	4,14	A1 V	36 20,0	+3,17	+05 47 31	−12,6
248	e Парусов	4,14	A9 II	36 45,8	+2,11	−42 54 04	−12,7
249	σ Гидры	4,43	K2 III	37 27,0	+3,13	+03 25 48	−12,7
250	β Компаса	3,98	G5 III	39 07,3	+2,35	−35 13 07	−12,8
251	o Парусов	3,60	B3 III	39 34,6	+1,72	−52 49 57	−12,8
252	b Парусов	3,83	F2 Ia	39 47,8	+1,99	−46 33 33	−12,9
253	d Киля	4,32	B1 III	40 04,0	+1,32	−59 40 17	−12,9
254	η Гидры	4,30	B3 V	41 55,1	+3,14	+03 29 23	−13,0
255	α Компаса	3,69	B2 III	42 35,2	+2,41	−33 05 44	−13,0
256	δ Рака	3,94	K0 III	43 15,9	+3,41	+18 14 50	−13,3
257	ι Рака	4,02	G8 II	45 11,2	+3,62	+28 51 09	−13,3
258	γ Компаса	4,01	K3 III	49 28,2	+2,55	−27 36 59	−13,4
259	ζ Гидры	3,10	K0 II	54 04,4	+3,17	+06 02 30	−13,8
260	c Киля	3,84	B8 II	54 28,9	+1,36	−60 32 55	−13,8
261	α Рака	4,26	A5 III	57 07,2	+3,28	+11 57 19	−14,0
262	ι Б. Медведицы	3,14	A7 V	57 30,1	+4,10	+48 08 27	−14,2
263	10 Б. Медведицы	3,97	F5 V	59 01,3	+3,89	+41 52 58	−14,4

№	a	b	c	d	a′	b′	c′	d′
210	$+0^s,153$	$+\ 0$	$-0^s,020$	$+0^s,064$	$-0'',303$	$-0'',953$	$+0'',441$	$+0'',002$
211	+0,086	$+0^s,022$	−0,030	+0,092	−0,308	−0,951	+0,990	+0,224
212	+0,106	+0,016	−0,027	+0,079	−0,327	−0,945	+0,916	+0,197
213	+0,172	−0,007	−0,023	+0,066	−0,328	−0,945	+0,146	−0,094
214	−0,002	+0,054	−0,058	+0,167	−0,329	−0,944	+1,038	+0,305
215	+0,179	−0,009	−0,024	+0,068	−0,336	−0,942	+0,049	−0,126
216	+0,118	+0,013	−0,027	+0,071	−0,355	−0,935	+0,835	+0,173
217	+0,186	−0,013	−0,027	+0,070	−0,359	−0,933	−0,053	−0,168
218	+0,162	−0,004	−0,025	+0,063	−0,366	−0,931	+0,294	−0,053
219	+0,192	−0,015	−0,029	+0,073	−0,373	−0,928	−0,121	−0,197
220	+0,095	+0,024	−0,034	+0,085	−0,376	−0,926	+0,951	+0,258
221	+0,128	+0,011	−0,028	+0,066	−0,395	−0,919	+0,749	+0,149
222	+0,191	−0,016	−0,031	+0,072	−0,395	−0,919	−0,118	−0,209
223	+0,184	−0,014	−0,030	+0,069	−0,400	−0,916	−0,029	−0,181
224	+0,159	−0,003	−0,028	+0,061	−0,415	−0,910	+0,348	−0,038
225	+0,143	+0,005	−0,029	+0,061	−0,423	−0,906	+0,577	+0,070
226	−0,038	+0,091	−0,096	+0,201	−0,431	−0,902	+0,991	+0,411
227	+0,120	+0,016	−0,033	+0,069	−0,434	−0,901	+0,815	+0,210
228	+0,181	−0,013	−0,032	+0,066	−0,434	−0,901	+0,022	−0,180
229	+0,185	−0,016	−0,033	+0,068	−0,438	−0,899	−0,041	−0,206
230	+0,107	+0,023	−0,037	+0,076	−0,440	−0,898	+0,894	+0,270
231	+0,126	+0,014	−0,033	+0,065	−0,455	−0,891	+0,767	+0,191
232	+0,103	+0,027	−0,041	+0,078	−0,467	−0,884	+0,904	+0,303
233	+0,129	+0,014	−0,035	+0,063	−0,484	−0,875	+0,739	+0,188
234	+0,076	+0,043	−0,054	+0,097	−0,485	−0,874	+0,959	+0,387
235	+0,105	+0,028	−0,044	+0,075	−0,510	−0,860	+0,885	+0,327
236	+0,128	+0,016	−0,038	+0,062	−0,524	−0,852	+0,745	+0,215
237	+0,134	+0,012	−0,037	+0,060	−0,530	−0,848	+0,688	+0,174
238	+0,092	+0,038	−0,052	+0,083	−0,533	−0,846	+0,916	+0,391
239	+0,162	−0,006	−0,038	+0,056	−0,556	−0,831	+0,294	−0,090
240	+0,112	+0,028	−0,047	+0,068	−0,565	−0,825	+0,840	+0,337
241	+0,205	−0,036	−0,053	+0,075	−0,578	−0,816	−0,244	−0,396
242	−0,090	+0,173	−0,177	+0,249	−0,579	−0,816	+0,891	+0,565
243	+0,061	+0,066	−0,076	+0,107	−0,581	−0,814	+0,921	+0,500
244	+0,150	+0,003	−0,039	+0,054	−0,589	−0,808	+0,487	+0,039
245	+0,032	+0,089	−0,097	+0,132	−0,593	−0,805	+0,912	+0,542
246	+0,248	−0,072	−0,082	+0,109	−0,603	−0,798	−0,485	−0,526
247	+0,159	−0,004	−0,042	+0,052	−0,630	−0,776	+0,353	−0,064
248	+0,105	+0,039	−0,058	+0,071	−0,632	−0,775	+0,845	+0,430
249	+0,156	−0,003	−0,042	−0,052	−0,634	−0,773	+0,387	−0,038
250	+0,117	+0,030	−0,052	+0,063	−0,640	−0,769	+0,797	+0,369
251	+0,086	+0,056	−0,071	+0,085	−0,641	−0,767	+0,873	+0,511
252	+0,099	+0,045	−0,062	+0,074	−0,642	−0,767	+0,855	+0,466
253	+0,066	+0,073	−0,085	+0,101	−0,643	−0,766	+0,880	+0,555
254	+0,156	−0,003	−0,043	+0,051	−0,649	−0,761	+0,387	−0,040
255	+0,120	+0,028	−0,052	+0,060	−0,651	−0,759	+0,778	+0,356
256	+0,170	−0,014	−0,046	+0,053	−0,654	−0,757	+0,175	−0,205
257	+0,181	−0,024	−0,050	+0,057	−0,660	−0,751	+0,017	−0,318
258	+0,128	+0,024	−0,051	+0,056	−0,674	−0,739	+0,727	+0,312
259	+0,158	−0,005	−0,046	+0,049	−0,689	−0,725	+0,355	−0,072
260	+0,068	+0,081	−0,094	+0,098	−0,690	−0,724	+0,844	+0,601
261	+0,163	−0,010	−0,048	+0,049	−0,698	−0,716	+0,276	−0,145
262	+0,206	−0,052	−0,070	+0,071	−0,699	−0,715	−0,243	−0,521
263	+0,196	−0,042	−0,063	+0,064	−0,704	−0,710	−0,151	−0,470

№	Название звезды		Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
264	w	Парусов	$4^m,45$	F8 III	$8^h59^m09^s,3$	$+2^s,24$	−41° 09′ 21″	−14″,1
265	ϰ	Б. Медведицы	3,60	A1 V	9 01 55,5	+4,08	+47 15 23	−14,3
266	α	Летучей Рыбы	4,00	A5 V	02 03,4	+0,94	−66 17 46	−14,4
267	c	Парусов	3,75	K2 III	03 17,4	+2,07	−46 59 52	−14,4
268	G	Киля	4,47	F6 II	05 05,8	+0,14	−72 30 07	−14,5
269	λ	Парусов	2,21	K4 Ib	07 04,5	+2,21	−43 19 52	−14,6
270	f	Б. Медведицы	4,48	A1	07 07,4	+4,23	+51 42 26	−14,6
271	β	Киля	1,68	A1 V	12 56,0	+0,65	−69 36 51	−14,8
272	θ	Гидры	3,88	B9,5 V	13 03,8	+3,12	+02 25 14	−15,3
273	ι	Киля	2,24	F0 Ib	16 25,3	+1,61	−59 10 12	−15,1
274	α	Рыси	3,13	M0 III	19 32,1	+3,65	+34 29 57	−15,3
275	ϰ	Парусов	2,50	B2 IV	21 20,3	+1,86	−54 54 12	−15,4
276	ϰ	Льва	4,46	K2 III	23 12,1	+3,49	+26 17 27	−15,6
277	α	Гидры	1,97	K3 IIIa	26 21,5	+2,95	−08 32 59	−15,7
278	ε	Насоса	4,51	M0 III	28 12,7	+2,48	−35 50 30	−15,8
279	h	Б. Медведицы	3,67	F0 IV	29 34,4	+4,70	+63 10 20	−15,9
280	λ	Льва	4,31	K5 III	30 17,8	+3,42	+23 04 46	−15,9
281	N	Парусов	3,12	K5 III	30 27,7	+1,82	−56 55 25	−15,9
282	θ	Б. Медведицы	3,18	F6 IV	31 11,6	+4,00	+51 47 32	−16,5
283	M	Парусов	4,35	dA5	35 56,1	+2,16	−49 14 33	−16,2
284	ι	Гидры	3,91	K3 III	38 34,7	+3,06	−01 01 43	−16,4
285	o	Льва	3,52	A5 V	39 49,0	+3,20	+10 00 24	−16,4
286	ε	Льва	2,98	G0 II	44 26,1	+3,40	+23 53 24	−16,7
287	α	Киля	3,40	cG2	44 33,6	+1,65	−62 23 32	−16,6
288	υ	Б. Медведицы	3,81	F2 IV	49 13,5	+4,24	+59 09 26	−17,0
289	$υ^1$	Гидры	4,11	G8 III	50 16,4	+2,88	−14 43 42	−16,9
290	μ	Льва	3,88	K2 III	51 20,7	+3,41	+26 07 31	−17,0
291	φ	Парусов	3,53	B5 II	55 59,0	+2,11	−54 26 54	−17,2
292	21	Малого Льва	4,49	A7 V	10 05 57,5	+3,53	+35 22 03	−17,6
293	η	Льва	3,53	A0 Ib	05 58,3	+3,27	+16 53 06	−17,6
294	α	Секстанта	4,50	A0 III	06 30,5	+3,07	−00 14 55	−17,6
295	α	Льва	1,35	B7 V	07 02,5	+3,19	+12 05 24	−17,7
296	λ	Гидры	3,61	K0 III	09 22,1	+2,93	−12 13 48	−17,8
297	ω	Киля	3,31	B7 IV	13 08,7	+1,43	−69 54 49	−17,9
298	q	Парусов	3,85	A2 V	13 41,0	+2,52	−41 59 52	−17,9
299	ζ	Льва	3,44	F0 III	15 18,1	+3,33	+23 32 33	−18,0
300	λ	Б. Медведицы	3,45	A2 IV	15 35,7	+3,61	+43 02 23	−18,0
301	q	Киля	3,42	K5 Ib	16 14,7	+2,01	−61 12 25	−18,0
302	μ	Б. Медведицы	3,05	M0 III	20 50,7	+3,56	+41 37 33	−18,2
303	I	Киля	3,98	F3 IV	23 54,2	+1,18	−73 54 15	−18,3
304	μ	Гидры	3,79	K5 III	24 52,8	+2,90	−16 42 30	−18,4
305	α	Насоса	4,25	K4,5 III	26 00,3	+2,75	−30 56 24	−18,4
306	β	Малого Льва	4,21	G8 III	26 26,5	+3,46	+36 50 09	−18,5
307	s	Киля	3,82	F0 II	26 57,5	+2,21	−58 36 41	−18,4
308	p	Киля	3,28	B5 V	31 07,9	+2,14	−61 33 23	−18,5
309	ρ	Льва	3,85	B1 Ib	31 29,7	+3,16	+09 26 08	−18,6
310	γ	Хамелеона	4,10	M0 III	35 11,1	+0,69	−78 28 40	−18,7
311	x	Парусов	4,27	G2 II	38 18,4	+2,39	−55 28 22	−18,8
312	θ	Киля	2,76	O9,5 V	42 03,6	+2,15	−64 15 47	−18,9
313	$δ^2$	Хамелеона	4,45	B2 IV	45 33,7	+0,53	−80 24 30	−19,0
314	ν	Гидры	3,11	K2 III	48 23,4	+2,96	−16 03 45	−18,9
315	46	Малого Льва	3,80	K1 III	51 55,0	+3,35	+34 21 00	−19,4
316	α	Чаши	4,07	K0 III	58 33,2	+2,92	−18 09 55	−19,2
317	i	Парусов	4,39	A2 IV	59 00,2	+2,76	−42 05 30	−19,3

№	a	b	c	d	a′	b′	c′	d′
264	$+0^s,112$	$+0^s,041$	$-0^s,062$	$+0^s,063$	−0″,704	−0″,710	+0″,794	+0,″464
265	+0,204	−0,051	−0,070	+0,069	−0,713	−0,701	−0,221	−0,524
266	+0,047	+0,108	−0,118	+0,116	−0,713	−0,701	+0,816	+0,653
267	+0,103	+0,051	−0,070	+0,068	−0,717	−0,697	+0,805	+0,524
268	+0,007	+0,153	−0,160	+0,153	−0,723	−0,691	+0,790	+0,689
269	+0,110	+0,046	−0,067	+0,063	−0,729	−0,685	+0,785	+0,500
270	+0,211	−0,062	−0,078	+0,074	−0,729	−0,685	−0,269	−0,572
271	+0,034	+0,134	−0,143	+0,127	−0,746	−0,666	+0,775	+0,699
272	+0,155	−0,002	−0,050	+0,044	−0,746	−0,666	+0,405	−0,032
273	+0,080	+0,084	−0,093	+0,085	−0,756	−0,655	+0,784	+0,649
274	+0,183	−0,035	−0,062	+0,052	−0,765	−0,644	−0,008	−0,433
275	+0,093	+0,073	−0,089	+0,074	−0,770	−0,638	+0,772	+0,630
276	+0,174	−0,026	−0,058	+0,047	−0,775	−0,632	+0,109	−0,343
277	+0,147	+0,008	−0,053	+0,042	−0,784	−0,621	+0,521	+0,116
278	+0,124	+0,038	−0,065	+0,051	−0,789	−0,615	+0,712	+0,462
279	+0,234	−0,104	−0,117	+0,090	−0,792	−0,610	−0,349	−0,707
280	+0,171	−0,023	−0,058	+0,044	−0,794	−0,608	+0,161	−0,311
281	+0,091	+0,081	−0,097	+0,074	−0,795	−0,607	+0,745	+0,666
282	+0,204	−0,067	−0,086	+0,065	−0,797	−0,605	−0,207	−0,626
283	+0,108	+0,063	−0,083	+0,060	−0,809	−0,588	+0,729	+0,613
284	+0,153	+0,001	−0,054	+0,039	−0,816	−0,579	+0,444	+0,015
285	+0,160	−0,010	−0,055	+0,039	−0,819	−0,574	+0,327	−0,142
286	+0,170	−0,025	−0,061	+0,041	−0,830	−0,558	+0,171	−0,336
287	+0,082	+0,106	−0,119	+0,080	−0,830	−0,557	+0,695	+0,736
288	+0,214	−0,094	−0,109	+0,070	−0,842	−0,540	−0,241	−0,723
289	+0,144	+0,015	−0,058	+0,037	−0,844	−0,536	+0,556	+0,215
290	+0,171	−0,028	−0,063	+0,040	−0,847	−0,532	+0,155	−0,373
291	+0,105	+0,080	−0,098	+0,059	−0,857	−0,515	+0,671	+0,697
292	+0,176	−0,042	−0,072	+0,039	−0,879	−0,477	+0,077	−0,509
293	+0,163	−0,018	−0,061	+0,033	−0,879	−0,477	+0,276	−0,255
294	+0,153	+ 0	−0,059	+0,032	−0,880	−0,475	+0,436	+0,004
295	+0,160	−0,013	−0,060	+0,032	−0,881	−0,473	+0,325	−0,185
296	+0,147	+0,013	−0,060	+0,032	−0,886	−0,464	+0,522	+0,188
297	+0,071	+0,163	−0,173	+0,087	−0,893	−0,450	+0,571	+0,839
298	+0,126	+0,054	−0,080	+0,040	−0,894	−0,447	+0,622	+0,598
299	+0,166	−0,026	−0,065	+0,032	−0,897	−0,441	+0,221	−0,358
300	+0,181	−0,056	−0,082	+0,040	−0,898	−0,440	+0,017	−0,613
301	+0,100	+0,109	−0,124	+0,061	−0,899	−0,437	+0,592	+0,788
302	+0,178	−0,054	−0,081	+0,037	−0,908	−0,419	+0,046	−0,603
303	+0,059	+0,211	−0,220	+0,098	−0,913	−0,407	+0,511	+0,878
304	+0,145	+0,018	−0,064	+0,028	−0,915	−0,403	+0,531	+0,263
305	+0,137	+0,037	−0,071	+0,031	−0,917	−0,399	+0,577	+0,472
306	+0,173	−0,046	−0,076	+0,033	−0,918	−0,397	+0,109	−0,550
307	+0,110	+0,100	−0,118	+0,051	−0,919	−0,395	+0,563	+0,784
308	+0,107	+0,114	−0,130	+0,053	−0,926	−0,378	+0,539	+0,814
309	+0,157	−0,010	−0,063	+0,025	−0,926	−0,377	+0,366	−0,152
310	+0,035	+0,305	−0,311	+0,121	−0,932	−0,362	+0,441	+0,914
311	+0,119	+0,091	−0,110	+0,041	−0,937	−0,349	+0,533	+0,772
312	+0,107	+0,130	−0,145	+0,051	−0,943	−0,334	+0,489	+0,849
313	+0,027	+0,374	−0,379	+0,128	−0,948	−0,319	+0,387	+0,934
314	+0,147	+0,018	−0,066	+0,021	−0,952	−0,307	+0,502	+0,263
315	+0,167	−0,044	−0,077	+0,024	−0,956	−0,293	+0,193	−0,540
316	+0,147	−0,021	−0,068	+0,019	−0,964	−0,265	+0,495	+0,301
317	+0,137	+0,058	−0,087	+0,024	−0,965	−0,263	+0,498	+0,647

№		Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
318	β	Б. Медведицы	$2^{m},37$	A1 V	$11^{h}00^{m}20^{s},5$	$+3^{s},60$	+56° 31′ 00″	−19″,3
319	b	Льва	4,42	A1 V	00 59,9	+3,20	+20 18 51	−19,4
320	α	Б. Медведицы	1,79	K0 III	02 11,8	+3,68	+61 53 10	−19,5
321	x	Киля	3,9	G0 Ia	07 31,0	+2,57	−58 50 22	−19,5
322	ψ	Б. Медведицы	3,01	K1 III	08 15,8	+3,36	+44 38 04	−19,6
323	β	Чаши	4,48	A2 III	10 25,5	+2,95	−22 41 21	−19,7
324	δ	Льва	2,56	A4 V	12 46,8	+3,19	+20 39 39	−19,8
325	θ	Льва	3,35	A2 V	12 55,7	+3,15	+15 33 59	−19,7
326	φ	Льва	4,47	A7 IV	15 23,4	+3,05	−03 30 53	−19,7
327	ν	Б. Медведицы	3,48	K3 III	17 07,9	+3,23	+33 13 51	−19,7
328	δ	Чаши	3,56	G8 III	18 05,3	+3,00	−14 38 35	−19,5
329	σ	Льва	4,05	B9,5 V	19 50,8	+3,09	+06 10 00	−19,7
330	π	Кентавра	3,88	B5 V	19 51,7	+2,75	−54 21 14	−19,7
331	γ	Чаши	4,08	A7 IV	23 37,8	+3,00	−17 32 48	−19,8
332	λ	Дракона	3,85	M0 III	29 56,2	+3,53	+69 28 09	−19,9
333	ξ	Гидры	3,54	G7 III	31 46,1	+2,96	−31 43 09	−19,9
334	λ	Кентавра	3,13	B9 II	34 37,2	+2,78	−62 52 53	−19,9
335	υ	Льва	4,30	G9 III	35 40,1	+3,07	−00 41 08	−19,9
336	λ	Мухи	3,64	A7 II	44 25,0	+2,85	−66 35 24	−20,0
337	ν	Девы	4,04	M1 III	44 34,4	+3,08	+06 40 10	−20,2
338	χ	Б. Медведицы	3,72	K0 III	44 44,1	+3,16	+47 55 05	−20,0
339	4522	Кентавра	4,10	G3 III	45 17,7	+2,92	−61 02 21	−20,0
340	β	Льва	2,14	A3 V	47 47,1	+3,06	+14 42 43	−20,1
341	j	Кентавра	4,31	B3 V	48 27,4	+2,94	−63 38 58	−20,0
342	β	Девы	3,60	F8 V	49 23,5	+3,13	+01 54 20	−20,3
343	B	Кентавра	4,46	K4 III	49 53,3	+3,01	−45 02 04	−20,0
344	γ	Б. Медведицы	2,44	A0 V	52 31,3	+3,14	+53 50 01	−20,0
345	o	Девы	4,12	G8 III	12 03 56,1	+3,06	+08 52 18	−20,0
346	η	Южн. Креста	4,14	F0 III	05 33,7	+3,14	−64 28 26	−20,0
347	δ	Кентавра	2,65	B2 V	07 03,3	+3,12	−50 34 59	−20,0
348	ε	Ворона	2,98	K2 III	08 50,1	+3,09	−22 28 51	−20,0
349	δ	Южн. Креста	2,82	B2 IV	13 48,4	+3,20	−58 36 35	−20,0
350	δ	Б. Медведицы	3,31	A3 V	14 11,7	+2,96	+57 10 17	−20,0
351	γ	Ворона	2,58	B8 III	14 31,0	+3,09	−17 24 12	−20,0
352	β	Хамелеона	4,25	B6 V	16 50,8	+3,57	−79 10 24	−20,0
353	η	Девы	3,90	A2 V	18 37,5	+3,07	−00 31 41	−20,0
354	ε	Южн. Креста	3,58	K3 II	20 00,4	+3,28	−60 15 49	−20,0
355	α	Южн. Креста	0,79	B1 IV	25 11,8	+3,36	−62 57 38	−19,9
356	γ	Волос Вероники	4,37	K1 III	25 41,8	+2,99	+28 24 28	−19,9
357	σ	Кентавра	3,91	B2 V	26 40,8	+3,26	−50 05 33	−19,9
358	δ	Ворона	2,94	B9 V	28 34,0	+3,11	−16 22 35	−20,0
359	γ	Южн. Креста	1,62	M3 II	29 46,1	+3,34	−56 58 24	−20,1
360	γ	Мухи	3,86	B5 V	30 57,2	+3,62	−71 59 42	−19,9
361	ϰ	Дракона	3,89	B5 III	32 25,4	+2,55	+69 55 33	−19,8
362	β	Гончих Псов	4,27	G0 V	32 33,4	+2,84	+41 29 35	−19,6
363	β	Ворона	2,64	G5 III	33 04,2	+3,16	−23 15 31	−19,9
364	α	Мухи	2,71	B3 IV	35 40,5	+3,61	−68 59 52	−19,8
365	β	Южн. Креста	1,23	B0,5 IV	46 14,9	+3,52	−59 33 08	−19,7
366	e	Кентавра	4,33	K2 II	51 41,5	+3,42	−48 48 27	−19,6
367	n	Кентавра	4,27	A7 III	52 02,7	+3,33	−40 02 35	−19,6
368	ε	Б. Медведицы	1,77	A0 V	52 56,0	+2,63	+56 05 43	−19,5
369	δ	Девы	3,38	M3 III	54 20,5	+3,02	+03 31 59	−19,5
370	α^2	Гончих Псов	2,84	B9,5 I	54 51,6	+2,80	+38 27 11	−19,4
371	δ	Мухи	3,61	K2 III	13 00 31,7	+4,17	−71 24 52	−19,4

№	a	b	c	d	a′	b′	c′	d′
318	$+0^{s}$,179	-0^{s},097	-0^{s},117	$+0^{s}$,031	−0″,966	−0″,257	+0″,025	−0″,806
319	+0,160	−0,024	−0,069	+0,018	−0,967	−0,255	+0,318	−0,336
320	+0,184	−0,121	−0,137	+0,035	−0,968	−0,250	−0,016	−0,854
321	+0,128	+0,107	−0,125	+0,029	−0,974	−0,227	+0,419	+0,833
322	+0,168	−0,064	−0,091	+0,021	−0,975	−0,224	+0,151	−0,685
323	+0,147	+0,027	−0,071	+0,016	−0,977	−0,215	+0,483	+0,377
324	+0,158	−0,025	−0,070	+0,015	−0,979	−0,205	+0,334	−0,345
325	+0,157	−0,018	−0,068	+0,014	−0,979	−0,204	+0,363	−0,263
326	+0,152	+0,004	−0,066	+0,013	−0,981	−0,193	+0,445	+0,060
327	+0,161	−0,043	−0,078	+0,015	−0,983	−0,186	+0,261	−0,538
328	+0,150	+0,017	−0,068	+0,013	−0,983	−0,182	+0,466	+0,249
329	+0,155	−0,007	−0,066	+0,012	−0,985	−0,174	+0,412	−0,106
330	+0,137	+0,092	−0,113	+0,020	−0,985	−0,174	+0,394	+0,800
331	+0,150	+0,021	−0,069	+0,011	−0,987	−0,158	+0,461	+0,298
332	+0,177	−0,176	−0,188	+0,025	−0,991	−0,131	+0,030	−0,928
333	+0,148	+0,041	−0,078	+0,010	−0,992	−0,123	+0,433	+0,522
334	+0,139	+0,129	−0,145	+0,016	−0,994	−0,111	+0,296	+0,885
335	+0,153	+0,001	−0,066	+0,007	−0,994	−0,106	+0,435	+0,012
336	+0,143	+0,154	−0,167	+0,011	−0,998	−0,068	+0,235	+0,916
337	+0,154	−0,008	−0,067	+0,005	−0,998	−0,067	+0,423	−0,116
338	+0,158	−0,074	−0,099	+0,007	−0,998	−0,067	+0,241	−0,741
339	+0,146	+0,120	−0,137	+0,009	−0,998	−0,064	+0,266	+0,873
340	+0,154	−0,017	−0,069	+0,004	−0,999	−0,053	+0,406	−0,254
341	+0,147	+0,134	−0,150	+0,008	−0,999	−0,050	+0,238	+0,895
342	+0,153	−0,002	−0.067	+0,003	−0,999	−0,046	+0,432	−0,033
343	+0,150	+0,067	−0,094	+0,004	−0,999	−0,044	+0,338	+0,707
344	+0,156	−0,091	−0,113	+0,004	−0,999	−0,033	+0,230	−0,807
345	+0,153	−0,010	−0,067	−0,001	−1,000	+0,017	+0,431	−0,154
346	+0,157	+0,140	−0,155	−0,004	−1,000	+0,024	+0,165	+0,902
347	+0,156	+0,081	−0,105	−0,003	−1,000	+0,031	+0,252	+0,772
348	+0,154	+0,028	−0,072	−0,003	−0,999	+0,039	+0,386	+0,382
349	+0,160	+0,109	−0,128	−0,008	−0,998	+0,060	+0,174	+0,852
350	+0,147	−0,103	−0,123	−0,008	−0,998	+0,062	+0,287	−0,839
351	+0,155	+0,021	−0,070	−0,004	−0,998	+0,063	+0,395	+0,298
352	+0,179	+0,348	−0,354	−0,026	−0,997	+0,073	+0,009	+0,980
353	+0,153	+0,001	−0,066	−0,005	−0,997	+0,081	+0,433	+0,009
354	+0,163	+0,116	−0,134	−0,012	−0,996	+0,087	+0,139	+0,865
355	+0,168	+0,130	−0,146	−0,016	−0,994	+0,110	+0,099	+0,885
356	+0,149	−0,036	−0,075	−0,008	−0,994	+0,112	+0,435	−0,473
357	+0,163	+0,079	−0,103	−0,012	−0,993	+0,116	+0,189	+0,762
358	+0,156	+0,019	−0,069	−0,009	−0,992	+0,124	+0,381	+0,280
359	+0,167	+0,102	−0,121	−0,016	−0,992	+0,130	+0,128	+0,831
360	+0,181	+0,203	−0,214	−0,029	−0,991	+0,135	+0,006	+0,942
361	+0,128	−0,181	−0,192	−0,027	−0,990	+0,141	+0,281	−0,930
362	+0,145	−0,058	−0,088	−0,013	−0,990	+0,142	+0,419	−0,656
363	+0,157	+0,028	−0,072	−0,010	−0,990	+0,144	+0,342	+0,391
364	+0,180	+0,172	−0,184	−0,029	−0,988	+0,155	+0,011	+0,922
365	+0,176	+0,111	−0,129	−0,026	−0,980	+0,200	+0,047	+0,845
366	+0,170	+0,074	−0,099	−0,023	−0,975	+0,224	+0,117	+0,733
367	+0,166	+0,055	−0,085	−0,020	−0,974	+0,225	+0,187	+0,627
368	+0,131	−0,097	−0,116	−0,027	−0,973	+0,229	+0,432	−0,808
369	+0,152	−0,004	−0,065	−0,016	−0,972	+0,235	+0,447	−0,060
370	+0,141	−0,051	−0,083	−0,020	−0,971	+0,237	+0,487	−0,604
371	+0,205	+0,191	−0,202	−0,055	−0,965	+0,261	−0,109	+0,915

№	Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
372	ε Девы	$2^m,84$	G9 II	$13^h00^m55^s,9$	$+2^s,99$	+11° 05′ 36″	−19″,3
373	ξ^2 Кентавра	4,27	B2 V	05 26,5	+3,52	−49 46 21	−19,2
374	θ Девы	4,38	A1 V	08 39,2	+3,11	−05 24 21	−19,2
375	β Волос Вероники	4,26	G0 V	10 42,4	+2,80	+28 00 16	−18,2
376	γ Гидры	3,00	G8 III	17 33,5	+3,27	−23 02 24	−19,0
377	ι Кентавра	2,73	A2 V	19 11,1	+3,38	−36 34 51	−18,9
378	ζ^A Б. Медведицы	2,06	A2 V	22 55,2	+2,41	+55 03 20	−18,8
379	α Девы	0,97	B1 V	23 52,4	+3,16	−11 01 53	−18,7
380	ζ Девы	3,38	A3 V	33 25,0	+3,06	−00 28 07	−18,4
381	ε Кентавра	2,30	B1 V	38 17,6	+3,82	−53 20 23	−18,2
382	1 Кентавра	4,23	F2 III	44 15,7	+3,42	−32 55 04	−18,2
383	τ Волопаса	4,50	F7 V	46 04,4	+2,85	+17 34 51	−17,9
384	η Б. Медведицы	1,86	B3 V	46 33,4	+2,36	+49 26 15	−17,9
385	μ Кентавра	2,94	B2 V:	48 06,2	+3,63	−42 20 59	−17,9
386	η Волопаса	2,68	G0 IV	53 29,6	+2,86	+18 31 21	−18,0
387	ζ Кентавра	2,55	B2 IV	53 58,2	+3,76	−47 09 57	−17,7
388	υ^1 Кентавра	3,87	B2 V	57 07,5	+3,72	−44 40 56	−17,5
389	τ Девы	4,26	A3 V	14 00 22,3	+3,06	+01 39 54	−17,4
390	β Кентавра	0,59	B1 II	02 02,7	+4,26	−60 15 11	−17,3
391	α Дракона	3,65	A0 III	03 42,6	+1,63	+64 29 42	−17,2
392	π Гидры	3,28	K2 III	04 56,6	+3,42	−26 33 45	−17,3
393	θ Кентавра	2,06	K0 III	05 12,3	+3,54	−36 14 52	−17,6
394	ϰ Девы	4,21	K3 III	11 33,5	+3,20	−10 09 29	−16,7
395	α Волопаса	−0,05	K2 III	14 31,2	+2,74	+19 18 43	−18,7
396	ι Девы	4,09	F7 III	14 42,0	+3,15	−05 52 55	−17,1
397	λ Волопаса	4,18	A0	15 26,0	+2,28	+46 12 09	−16,5
398	λ Девы	4,52	A2	17 45,2	+3,25	−13 15 24	−16,5
399	ν Кентавра	4,32	B5 II	18 33,9	+4,21	−56 16 20	−16,5
400	ψ Кентавра	4,05	A0 IV	19 01,7	+3,66	−37 46 16	−16,5
401	θ Волопаса	4,06	F7 V	24 20,7	+2,04	+51 57 57	−16,6
402	5 М. Медведицы	4,25	K4 III	27 33,4	−0,10	+75 48 26	−16,0
403	ρ Волопаса	3,59	K3 III	30 45,1	+2,59	+30 28 50	−15,7
404	γ Волопаса	3,02	A7 III	31 04,2	+2,41	+38 25 01	−15,7
405	σ Волопаса	4,47	F2 V	33 35,4	+2,61	+29 51 11	−15,6
406	η Кентавра	2,31	B1,5 V:	33 54,7	+3,82	−42 02 56	−15,7
407	ρ Волка	4,05	B5 V	36 11,6	+4,05	−49 19 05	−15,6
408	α Кентавра	0,06	G2 V	37 53,4	+4,10	−60 43 59	−14,8
409	α Волка	2,30	B1 III	40 15,5	+4,00	−47 16 54	−15,4
410	α Циркуля	3,19	F0 V	40 28,0	+4,88	−64 52 03	−15,6
411	μ Девы	3,88	F3 IV	41 44,4	+3,17	−05 33 01	−15,6
412	c^1 Кентавра	4,05	K5 III	42 07,3	+3,68	−35 04 01	−15,4
413	α Райской Птицы	3,82	K5 III	44 40,9	+7,57	−78 56 25	−15,1
414	109 Девы	3,73	A0 V	44 58,9	+3,04	+01 59 51	−15,1
415	α^2 Весов	2,75	A3 IV	49 29,5	+3,32	−15 56 20	−14,9
416	β М. Медведицы	2,08	K4 III	50 45,6	−0,15	+74 15 28	−14,7
417	16 Весов	4,49	F0 IV	55 52,6	+3,14	−04 14 41	−14,4
418	β Волка	2,68	B2 IV	56 53,2	+3,94	−43 02 03	−14,4
419	ϰ Кентавра	3,13	B2 V	57 31,6	+3,91	−42 00 18	−14,4
420	β Волопаса	3,50	G8 III	15 01 00,2	+2,26	+40 29 19	−14,1
421	σ Весов	3,27	M4 III	02 36,1	+3,52	−25 11 05	−14,1
422	$\varkappa^1$ Волка	3,87	B9 V	10 11,2	+4,18	−48 38 38	−13,6
423	ζ Волка	3,40	G8 III	10 28,7	+4,33	−52 00 19	−13,6
424	δ Волопаса	3,49	G8 III	14 29,6	+2,42	+33 24 26	−13,4
425	β Циркуля	4,06	A3 V	15 32,6	+4,72	−58 42 33	−13,3

№	a	b	c	d	a′	b′	c′	d′
372	$+0^{s},150$	$-0^{s},013$	$-0^{s},066$	$-0^{s},018$	−0″,965	+0″,263	+0″,476	−0″,186
373	+0,175	+0,076	−0,099	−0,029	−0,960	+0,282	+0,065	+0,733
374	+0,155	+0,006	−0,64	−0,020	−0,955	+0,295	+0,404	+0,090
375	+0,143	−0,034	−0,072	−0,023	−0,953	+0,304	+0,525	−0,447
376	+0,163	+0,027	−0,068	−0,024	−0,943	+0,332	+0,269	+0,369
377	+0,170	+0,047	−0,078	−0,028	−0,941	+0,339	+0,146	+0,561
378	+0,120	−0,089	−0,109	−0,041	−0,935	+0,354	+0,539	−0,767
379	+0,158	+0,012	−0,063	−0,024	−0,934	+0,358	+0,357	+0,179
380	+0,153	+0,001	−0,061	−0,026	−0,918	+0,396	+0,430	+0,008
381	+0,191	+0,081	−0,102	−0,046	−0,909	−0,416	−0,075	+0,730
382	+0,172	+0,039	−0,071	−0,035	−0,898	+0,439	+0,125	+0,488
383	+0,144	−0,019	−0,063	−0,031	−0,895	+0,446	+0,548	−0,270
384	+0,118	−0,070	−0,092	−0,046	−0,894	+0,448	+0,623	−0,679
385	+0,181	+0,054	−0,080	−0,041	−0,891	+0,454	+0,014	+0,600
386	+0,143	−0,020	−0,062	−0,033	−0,880	+0,475	+0,562	−0,280
387	+0,188	+0,063	−0,086	−0,047	−0,879	+0,477	−0,055	+0,645
388	+0,186	+0,058	−0,082	−0,046	−0,872	+0,489	−0,036	+0,613
389	+0,152	−0,002	−0,058	−0,033	−0,865	+0,501	+0,448	−0,025
390	+0,213	+0,101	−0,116	−0,068	−0,862	+0,508	−0,226	+0,748
391	+0,081	−0,120	−0,133	−0,080	−0,858	+0,514	+0,651	−0,774
392	+0,171	+0,028	−0,064	−0,039	−0,855	+0,519	+0,156	+0,382
393	+0,179	+0,042	−0,071	−0,043	−0,854	+0,520	+0,043	+0,505
394	+0,160	+0,010	−0,057	−0,037	−0,840	+0,543	+0,331	+0,148
395	+0,140	−0,019	−0,059	−0,039	−0,833	+0,554	+0,592	−0,275
396	+0,157	+0,006	−0,056	−0,037	−0,832	+0,554	+0,375	+0,085
397	+0,115	−0,058	−0,080	−0,054	−0,830	+0,557	+0,702	−0,599
398	+0,162	+0,013	−0,056	−0,039	−0,825	+0,566	+0,292	+0,189
399	+0,210	+0,082	−0,099	−0,068	−0,823	+0,568	−0,232	+0,684
400	+0,183	+0,042	−0,069	−0,048	−0,822	+0,570	−0,006	+0,503
401	+0,103	−0,069	−0,087	−0,064	−0,808	+0,589	+0,731	−0,637
402	−0,005	−0,211	−0,217	−0,163	−0,800	+0,600	+0,688	−0,775
403	+0,129	−0,031	−0,061	−0,047	−0,791	+0,611	+0,684	−0,401
404	+0,121	−0,042	−0,067	−0,052	−0,791	+0,612	+0,720	−0,491
405	+0,130	−0,030	−0,060	−0,048	−0,784	+0,621	+0,685	−0,390
406	+0,191	+0,047	−0,070	−0,056	−0,783	+0,622	−0,095	+0,524
407	+0,202	+0,060	−0,079	−0,064	−0,777	+0,630	−0,195	+0,589
408	+0,229	+0,092	−0,105	−0,087	−0,772	+0,636	−0,343	+0,673
409	+0,200	+0,055	−0,075	−0,063	−0,765	+0,644	−0,179	+0,562
410	+0,245	+0,109	−0,120	−0,101	−0,765	+0,644	−0,399	+0,692
411	+0,157	+0,005	−0,051	−0,043	−0,761	+0,649	+0,369	+0,074
412	+0,184	+0,036	−0,062	−0,053	−0,760	+0,650	−0,018	+0,437
413	+0,378	+0,257	−0,262	−0,229	−0,753	+0,658	−0,563	+0,739
414	+0,152	−0,002	−0,050	−0,044	−0,752	+0,659	+0,456	−0,026
415	+0,166	+0,014	−0,051	−0,047	−0,739	+0,674	+0,232	+0,203
416	−0,007	−0,174	−0,181	−0,167	−0,735	+0,678	+0,770	−0,707
417	+0,157	+0,004	−0,048	−0,046	−0,720	+0,694	+0,381	+0,053
418	+0,197	+0,045	−0,065	−0,064	−0,717	+0,697	−0,159	+0,489
419	+0,195	+0,043	−0,064	−0,063	−0,715	+0,699	−0,146	+0,478
420	+0,113	−0,040	−0,062	−0,062	−0,704	+0,710	+0,791	−0,457
421	+0,176	+0,022	−0,051	−0,053	−0,699	+0,715	+0,088	+0,297
422	+0,209	+0,051	−0,068	−0,074	−0,675	+0,738	−0,267	+0,507
423	+0,216	+0,058	−0,073	−0,080	−0,674	+0,739	−0,315	+0,531
424	+0,120	−0,029	−0,053	−0,060	−0,661	+0,750	+0,775	−0,364
425	+0,236	+0,072	−0,084	−0,097	−0,658	+0,753	−0,419	+0,562

№	Название звезды		Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
426	β	Весов	$2^m,61$	B8 V	$15^h15^m39^s,5$	$+3^s,23$	−09° 17′ 30″	−13″,2
427	2	Волка	4,33	K0 II	16 18,2	+3,66	−30 03 29	−13,1
428	γ	Южного Треугольника	2,88	A1 V	16 33,1	+5,64	−68 35 19	−13,1
429	δ	Волка	3,22	B2 IV	19 43,4	+3,95	−40 33 30	−12,9
430	φ^1	Волка	3,56	K5 III	20 12,8	+3,82	−36 10 18	−13,0
431	γ	М. Медведицы	3,05	A3 II	20 45,2	−0,08	+71 55 23	−12,8
432	μ	Волопаса pr	4,32	F0 IV	23 32,7	+2,27	+37 27 51	−12,6
433	ι	Дракона	3,28	K2 III	24 22,1	+1,34	+59 03 11	−12,6
434	β	Сев. Короны	3,68	F0 III	26 47,8	+2,47	+29 11 28	−12,3
435	θ	Сев. Короны	4,13	B7 V	31 55,2	+2,42	+31 26 34	−12,1
436	α	Сев. Короны	2,24	A0 V	33 37,7	+2,54	+26 47 53	−12,0
437	γ	Весов	3,91	G8 III	34 07,4	+3,36	−14 42 26	−11,9
438	ε	Южного Треугольника	4,10	K0 III	34 24,8	+5,52	−66 14 05	−12,0
439	υ	Весов	3,57	K3 III	35 30,1	+3,65	−28 03 12	−11,8
440	ω^1	Волка	4,33	K4,5 III	36 21,9	+4,07	−42 29 14	−11,8
441	α	Змеи	2,64	K2 III	43 02,1	+2,96	+06 30 12	−11,2
442	ζ	М. Медведицы	4,32	A3 V	44 55,0	−2,09	+77 52 19	−11,1
443	β	Змеи	3,67	A3 V	45 01,9	+2,77	+15 29 57	−11,2
444	ϰ	Змеи	4,09	M1 III	47 36,8	+2,70	+18 13 04	−11,0
445	μ	Змеи	3,53	A0 V	48 18,8	+3,13	−03 21 17	−10,9
446	χ	Волка	3,95	A0 III	49 21,9	+3,82	−33 33 08	−10,8
447	ε	Змеи	3,70	A2	49 34,0	+2,99	+04 33 07	−10,7
448	β	Южного Треугольника	2,85	F2 IV	52 55,5	+5,31	−63 21 18	−10,9
449	γ	Змеи	3,86	F6 V	55 17,8	+2,77	+15 44 32	−11,7
450	ρ	Скорпиона	3,86	B2 V	55 20,1	+3,71	−29 08 33	−10,4
451	ε	Сев. Короны	4,15	K3 III	56 33,0	+2,48	+26 56 58	−10,3
452	π	Скорпиона	2,91	B1 V	57 20,1	+3,63	−26 02 36	−10,2
453	δ	Скорпиона	2,32	B0 V	58 51,1	+3,55	−22 33 06	−10,1
454	θ	Дракона	4,03	F8 IV	16 01 25,0	+1,13	+58 37 54	−9,6
455	β	Скорпиона	2,59	B0,5 V	03 58,8	+3,49	−19 44 17	−9,7
456	θ	Волка	4,23	B2 V	04 56,7	+3,95	−36 44 08	−9,7
457	φ	Геркулеса	4,27	B9 V	07 58,8	+1,89	+44 59 59	−9,4
458	δ	Змееносца	2,75	M1 III	13 02,0	+3,15	−03 37 52	−9,2
459	δ	Южного Треугольника	3,84	G2 II	13 08,9	+5,48	−63 37 25	−9,0
460	ε	Змееносца	3,23	G9 III	16 59,7	+3,18	−04 37 58	−8,7
461	γ^2	Наугольника	4,02	G8 III	17 57,7	+4,50	−50 05 45	−8,7
462	τ	Геркулеса	3,90	B5 IV	18 59,2	+1,80	+46 22 20	−8,5
463	σ	Скорпиона	2,88	B1 III	19 39,9	+3,65	−25 32 03	−8,5
464	γ	Геркулеса	3,76	A9 III	20 48,9	+2,65	+19 12 39	−8,4
465	χ	Змееносца	4,43	B2 V	25 34,2	+3,48	−18 24 04	−8,0
466	α	Скорпиона	0,91	M1 Ia	27 52,2	+3,68	−26 22 40	−7,9
467	β	Геркулеса	2,74	G8 III	29 08,6	+2,58	+21 32 35	−7,8
468	γ	Райской Птицы	3,88	K0 IV	29 34,0	+9,29	−78 50 39	−7,8
469	N	Скорпиона	4,23	B2 III	29 44,6	+3,93	−34 39 04	−7,7
470	ω	Змееносца	4,45	A7 I	30 39,0	+3,56	−21 24 53	−7,6
471	σ	Геркулеса	4,20	A0 V	33 17,7	+1,94	+42 29 16	−7,4
472	τ	Скорпиона	2,81	B0 V	34 19,3	+3,74	−28 09 56	−7,3
473	ζ	Змееносца	2,56	O9,5 V	35 46,8	+3,31	−10 31 04	−7,2
474	β	Райской Птицы	4,23	K0 III	39 29,6	+8,72	−77 28 00	−6,9
475	η	Геркулеса	3,50	G7 III	42 02,2	+2,06	+38 58 09	−6,8
476	α	Южного Треугольника	1,91	K4 III	46 00,2	+6,38	−68 59 02	−6,4
477	η	Жертвенника	3,75	K5 III	47 37,1	+5,19	−58 59 55	−6,3
478	ε	М. Медведицы	4,23	G5 III	48 28,3	−6,06	+82 04 50	−6,2
479	ε	Скорпиона	2,29	K2,5 III	48 32,4	+3,89	−34 14 57	−6,4

№	a	b	c	d	a′	b′	c′	d′
426	$+0^{s},161$	$+0^{s},007$	$-0^{s},044$	$-0^{s},051$	$-0'',657$	$+0'',754$	$+0'',306$	$+0'',106$
427	+0,182	+0,025	−0,050	−0,058	−0,655	+0,756	−0,003	+0,328
428	+0,282	+0,111	−0,119	−0,138	−0,654	+0,756	−0,546	+0,609
429	+0,197	+0,037	−0,056	−0,067	−0,644	+0,765	−0,168	+0,419
430	+0,191	+0,031	−0,053	−0,063	−0,642	+0,767	−0,102	+0,379
431	−0,004	−0,131	−0 138	−0,165	−0,640	+0,768	+0,865	−0,609
432	+0,114	−0,032	−0,053	−0,065	−0,631	+0,776	+0,816	−0,384
433	+0,067	−0,070	−0,081	−0,101	−0,628	+0,778	+0,890	−0,539
434	+0,124	−0,023	−0,047	−0,060	−0,620	+0,785	+0,761	−0,302
435	+0,121	−0,025	−0,047	−0,062	−0,602	+0,798	+0,786	−0,314
436	+0,126	−0,020	−0,045	−0,060	−0,596	+0,803	+0,749	−0,269
437	+0,167	+0,010	−0,041	−0,055	−0,594	+0,804	+0,215	+0,151
438	+0,275	+0,090	−0,098	−0,133	−0,593	+0,805	−0,562	+0,543
439	+0,182	+0,021	−0,045	−0,061	−0,590	+0,808	+0,003	+0,277
440	+0,203	+0,036	−0,053	−0,073	−0,586	+0,810	−0,227	+0,396
441	+0,147	−0,004	−0,038	−0,055	−0,563	+0,827	+0,524	−0,064
442	−0,105	−0,172	−0,176	−0,264	−0,556	+0,831	+0,904	−0,543
443	+0,138	−0,010	−0,038	−0,058	−0,555	+0,832	+0,640	−0,148
444	+0,135	−0,012	−0,038	−0,059	−0,546	+0,838	+0,674	−0,171
445	+0,157	+0,002	−0,036	−0,056	−0,543	+0,839	+0,384	+0,032
446	+0,191	+0,024	−0,043	−0,067	−0,540	+0,842	−0,104	+0,298
447	+0,149	−0,003	−0,036	−0,056	−0,539	+0,842	+0,499	−0,043
448	+0,266	+0,070	−0,078	−0,126	−0,526	+0,850	−0,565	+0,471
449	+0,137	−0,010	−0,036	−0,059	−0,518	+0,856	+0,649	−0,140
450	+0,185	+0,019	−0,040	−0,065	−0,518	+0,856	−0,038	+0,252
451	+0,124	−0,017	−0,038	−0,064	−0,513	+0,858	+0,776	−0,232
452	+0,181	+0,017	−0,038	−0,064	−0,510	+0,860	+0,012	+0,224
453	+0,177	+0,014	−0,036	−0,062	−0,504	+0,864	+0,069	+0,193
454	+0,058	−0,054	−0,063	−0,111	−0,495	+0,869	+0,968	−0,422
455	+0,174	+0,012	−0,034	−0,062	−0,485	+0,875	+0,113	+0,164
456	+0,197	+0,024	−0,040	−0,073	−0,481	+0,877	−0,177	+0,288
457	+0,094	−0,031	−0,044	−0,083	−0,470	+0,883	+0,931	−0,332
458	+0,157	+0,002	−0,030	−0,060	−0,450	+0,893	+0,376	+0,028
459	+0,273	+0,060	−0,067	−0,134	−0,450	+0,893	−0,608	+0,403
460	+0,158	+0,002	−0,029	−0,060	−0,434	+0,901	+0,359	+0,035
461	+0,225	+0,034	−0,045	−0,094	−0,431	+0,903	−0,414	+0,330
462	+0,090	−0,030	−0,041	−0,087	−0,427	+0,904	+0,954	−0,309
463	+0,182	+0,014	−0,031	−0,067	−0,424	+0,906	+0,001	+0,183
464	+0,132	−0,010	−0,030	−0,064	−0,419	+0,908	+0,708	−0,138
465	+0,174	+0,009	−0,028	−0,064	−0,400	+0,916	+0,122	+0,126
466	+0,184	+0,013	−0,029	−0,068	−0,391	+0,920	−0,020	+0,174
467	+0,129	−0,010	−0,028	−0,066	−0,386	+0,922	+0,742	−0,142
468	+0,465	+0,130	−0,132	−0,318	−0,384	+0,923	−0,822	+0,377
469	+0,196	+0,018	−0,031	−0,075	−0,384	+0,923	−0,168	+0,218
470	+0,177	+0,010	−0,027	−0,066	−0,380	+0,925	+0,066	+0,139
471	+0,097	−0,023	−0,033	−0,084	−0,369	+0,929	+0,947	−0,249
472	+0,187	+0,013	−0,028	−0,070	−0,365	+0,931	−0,057	+0,172
473	+0,165	+0,004	−0,024	−0,063	−0,359	+0,933	+0,256	+0,066
474	+0,435	+0,103	−0,106	−0,288	−0,344	+0,939	−0,822	+0,336
475	+0,102	−0,018	−0,029	−0,081	−0,334	+0,943	+0,930	−0,210
476	+0,318	+0,055	−0,059	−0,176	−0,317	+0,948	−0,730	+0,296
477	+0,259	+0,034	−0,040	−0,123	−0,311	+0,951	−0,591	+0,266
478	−0,303	−0,147	−0,149	−0,460	−0,307	+0,952	+1,002	−0,304
479	+0,196	+0,014	−0,025	−0,077	−0,307	+0,952	−0,177	+0,173

№		Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α			Годовое изменение α	δ			Годовое изменение δ
480	μ^1	Скорпиона	$3^m,03$	B1,5 V	16^h	50^m	$10^s,3$	$+4^s,07$	−38°	00′	22″	−6″,0
481	ι	Змееносца	4,38	B8 IV		52	49,4	+2,84	+10	12	19	−5,8
482	ϰ	Змееносца	3,20	K2 III		56	29,0	+2,84	+09	24	46	−5,5
483	ζ	Жертвенника	3,12	K5 III		56	32,7	+4,97	−55	57	09	−5,5
484	ε^1	Жертвенника	4,05	K4 III		57	35,1	+4,79	−53	07	26	−5,4
485	ε	Геркулеса	3,92	A0 V		59	19,9	+2,30	+30	57	45	−5,2
486	ζ	Дракона	3,17	B6 III	17	08	42,5	+0,18	+65	44	43	−4,4
487	η	Скорпиона	3,34	F0 IV		10	21,5	+4,30	−43	12	28	−4,6
488	δ	Геркулеса	3,13	A3 V		14	00,2	+2,47	+24	52	04	−4,2
489	π	Геркулеса	3,16	K3 II		14	10,5	+2,09	+36	50	11	−4,0
490	ν	Змеи	4,31	A1 V		19	25,1	+3,37	−12	49	24	−3,5
491	θ	Змееносца	3,26	B2 IV		20	28,3	+3,69	−24	58	33	−3,5
492	β	Жертвенника	2,84	K3 Ib		23	13,0	+4,99	−55	30	29	−3,2
493	b	Змееносца	4,16	A9 V		24	50,5	+3,67	−24	09	13	−3,2
494	σ	Змееносца	4,33	K3 II		25	16,3	+2,98	+04	09	39	−3,0
495	d	Змееносца	4,27	F5 IV		25	45,3	+3,83	−29	50	45	−3,1
496	δ	Жертвенника	3,61	B8 V		28	50,2	+5,42	−60	39	54	−2,8
497	υ	Скорпиона	2,68	B3 Ib		29	03,7	+4,08	−37	16	39	−2,7
498	λ	Геркулеса	4,41	K4 III		29	43,6	+2,43	+26	07	43	−2,6
499	β	Дракона	2,78	G2 II		29	51,9	+1,36	+52	19	10	−2,6
500	α	Жертвенника	2,95	B2,5 V		29	54,4	+4,64	−49	51	29	−2,7
501	λ	Скорпиона	1,63	B1 V		31	54,5	+4,08	−37	05	13	−2,5
502	α	Змееносца	2,07	A5 III		33	46,3	+2,79	+12	34	38	−2,5
503	θ	Скорпиона	1,87	F0 Ib		35	31,2	+4,31	−42	59	01	−2,1
504	ξ	Змеи	3,52	F0 IV		36	09,2	+3,44	−15	23	03	−2,1
505	ι	Геркулеса	3,80	B3 V		38	45,4	+1,69	+46	01	08	−1,9
506	o	Змеи	4,24	A2 V		40	00,6	+3,38	−12	51	48	−1,8
507	δ	М. Медведицы	4,36	A1 V		40	13,6	− 19,33	+86	36	02	−1,7
508	ϰ	Скорпиона	2,41	B2 IV		40	45,3	+4,15	−39	01	07	−1,7
509	β	Змееносца	2,77	K2 III		42	14,1	+2,96	+04	34	36	−1,4
510	η	Павлина	3,61	K1 III		43	16,5	+5,89	−64	42	50	−1,5
511	μ	Геркулеса	3,42	G5 IV		45	28,7	+2,35	+27	44	04	−2,0
512	ι′	Скорпиона	2,98	F2 Ia		45	50,0	+4,20	−40	07	08	−1,2
513	γ	Змееносца	3,75	A0 V		46	38,2	+3,01	+02	42	56	−1,2
514	G	Скорпиона	3,20	K1 III		48	09,3	+4,09	−37	02	13	−1,0
515	ξ	Дракона	3,75	K2 III		53	05,6	+1,04	+56	52	34	−0,5
516	θ	Геркулеса	3,87	K1 II		55	23,6	+2,06	+37	15	11	−0,4
517	γ	Дракона	2,22	K5 III		56	01,4	+1,39	+51	29	29	−0,4
518	ξ	Геркулеса	3,70	K0 III		56	47,5	+2,33	+29	14	59	−0,3
519	ν	Змееносца	3,34	G9 III		57	38,9	+3,30	−09	46	19	−0,3
520	67	Змееносца	3,97	B5 Ib		59	23,5	+3,01	+02	55	54	−0,1
521	γ	Стрельца	2,99	K0 III	18	04	12,0	+3,85	−30	25	33	+0,2
522	θ	Жертвенника	3,66	B0,5 II		04	41,0	+4,67	−50	05	42	+0,4
523	72	Змееносца	3,73	A4 IV		06	09,8	+2,84	+09	33	33	+0,6
524	π	Павлина	4,34	A5 V		06	10,3	+5,77	−63	40	16	+0,5
525	o	Геркулеса	3,83	B9,5 V		06	33,9	+2,34	+28	45	29	+0,6
526	102	Геркулеса	4,35	B2 V		07	41,3	+2,57	+20	48	33	+0,7
527	μ	Стрельца	3,85	B8 Ia		12	16,0	+3,59	−21	04	00	+1,1
528	η	Стрельца	3,11	M3 III		15	56,1	+4,06	−36	46	15	+1,2
529	ϰ	Лиры	4,34	K2 III		18	59,0	+2,10	+36	03	09	+1,7
530	δ	Стрельца	2,70	K2 III		19	23,6	+3,84	−29	50	25	+1,7
531	η	Змеи	3,25	K0 III		20	00,9	+3,10	−02	54	23	+1,0
532	ξ	Павлина	4,36	K2 III		20	55,4	+5,53	−61	30	26	+1,8
533	χ	Дракона	3,58	F7 V		21	30,4	−1,08	+72	43	21	+1,5

№	a	b	c	d	a′	b′	c′	d′
480	$+0^s,203$	$+0^s,016$	$-0^s,025$	$-0^s,081$	−0″,300	+0″,954	−0″,246	+0″,185
481	+0,142	−0,003	−0,020	−0,065	−0,289	+0,957	+0,596	−0,051
482	+0,143	−0,003	−0,018	−0,065	−0,274	+0,962	+0,585	−0,045
483	+0,248	+0,027	−0,033	−0,115	−0,273	+0,962	−0,554	+0,226
484	+0,239	+0,024	−0,030	−0,107	−0,269	+0,963	−0,510	+0,215
485	+0,115	−0,010	−0,020	−0,075	−0,262	+0,965	+0,868	−0,135
486	+0,009	−0,033	−0,036	−0,158	−0,222	+0,975	+1,067	−0,202
487	+0,214	+0,013	−0,020	−0,089	−0,215	+0,977	−0,353	+0,147
488	+0,123	−0,006	−0,015	−0,072	−0,199	+0,980	+0,805	−0,084
489	+0,104	−0,010	−0,017	−0,082	−0,199	+0,980	+0,935	−0,119
490	+0,168	+0,003	−0,012	−0,067	−0,176	+0,984	+0,204	+0,039
491	+0,184	+0,005	−0,013	−0,072	−0,172	+0,985	−0,023	+0,072
492	+0,249	+0,016	−0,019	−0,116	−0,160	+0,987	−0,568	+0,132
493	+0,183	+0,005	−0,011	−0,072	−0,153	+0,988	−0,009	+0,063
494	+0,148	−0,001	−0,010	−0,066	−0,151	+0,989	+0,504	−0,011
495	+0,191	+0,006	−0,011	−0,076	−0,149	+0,989	−0,116	+0,074
496	+0,271	+0,016	−0,018	−0,135	−0,136	+0,991	−0,651	+0,118
497	+0,204	+0,007	−0,011	−0,083	−0,135	+0,991	−0,255	+0,082
498	+0,121	−0,004	−0,010	−0,074	−0,132	+0,991	+0,826	−0,058
499	+0,068	−0,011	−0,014	−0,108	−0,131	+0,991	+1,050	−0,104
500	+0,232	+0,010	−0,014	−0,103	−0,131	+0,991	−0,478	+0,100
501	+0,203	+0,006	−0,010	−0,083	−0,122	+0,992	−0,253	+0,074
502	+0,139	−0,002	−0,008	−0,068	−0,114	+0,993	+0,640	−0,025
503	+0,215	+0,007	−0,010	−0,091	−0,107	+0,994	−0,361	+0,073
504	+0,172	+0,002	−0,007	−0,069	−0,104	+0,995	+0,154	+0,028
505	+0,084	−0,006	−0,009	−0,096	−0,093	+0,996	+1,018	−0,067
506	+0,168	+0,001	−0,006	−0,068	−0,087	+0,996	+0,201	+0,019
507	−0,965	−0,097	−0,097	−0,011	−0,086	+0,996	+1,020	−0,086
508	+0,207	+0,005	−0,007	−0,086	−0,084	+0,996	−0,290	+0,053
509	+0,148	−0,000	−0,005	−0,067	−0,077	+0,997	+0,512	−0,006
510	+0,294	+0,010	−0,011	−0,156	−0,073	+0,997	−0,717	+0,066
511	+0,118	−0,002	−0,005	−0,075	−0,063	+0,998	+0,848	−0,029
512	+0,209	+0,003	−0,005	−0,087	−0,062	+0,998	−0,312	+0,040
513	+0,150	−0,000	−0,004	−0,067	−0,058	+0,998	+0,480	−0,003
514	+0,204	+0,003	−0,004	−0,083	−0,052	+0,999	−0,255	+0,031
515	+0,051	−0,003	−0,004	−0,122	−0,030	+1,000	+1,074	−0,025
516	+0,103	−0,001	−0,002	−0,084	−0,020	+1,000	+0,950	−0,012
517	+0,070	−0,001	−0,002	−0,107	−0,017	+1,000	+1,052	−0,014
518	+0,116	−0,001	−0,001	−0,076	−0,014	+1,000	+0,867	−0,007
519	+0,165	+0,000	−0,001	−0,068	−0,010	+1,000	+0,258	+0,002
520	+0,150	−0,000	−0,000	−0,067	−0,003	+1,000	+0,484	−0,000
521	+0,192	−0,001	+0,001	−0,077	+0,018	+1,000	−0,132	−0,009
522	+0,233	−0,002	+0,002	−0,104	+0,020	+1,000	−0,489	−0,016
523	+0,142	+0,000	+0,002	−0,068	+0,027	+1,000	+0,594	+0,004
524	+0,288	−0,004	+0,004	−0,150	+0,027	+1,000	−0,704	−0,024
525	+0,117	+0,001	+0,002	−0,076	+0,029	+1,000	+0,861	+0,014
526	+0,128	+0,001	+0,002	−0,071	+0,034	+0,999	+0,760	+0,012
527	+0,179	−0,001	+0,004	−0,071	+0,053	+0,999	+0,046	−0,019
528	+0,203	−0,003	+0,006	−0,083	+0,069	+0,998	−0,250	−0,042
529	+0,105	+0,004	+0,007	−0,082	+0,083	+0,997	+0,937	+0,049
530	+0,191	−0,003	+0,006	−0,077	+0,085	+0,996	−0,120	−0,042
531	+0,157	−0,000	+0,006	−0,066	+0,087	+0,996	+0,383	−0,004
532	+0,276	−0,011	+0,013	−0,139	+0,091	+0,996	−0,668	−0,080
533	−0,060	+0,020	+0,021	−0,223	+0,094	+0,996	+1,079	+0,089

№	Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
534	ε Стрельца	$1^m,85$	A0 5	$18^h22^m30^s,7$	$+3^s,98$	−34° 23′ 53″	+1″,8
535	109 Геркулеса	3,84	K2 III	22 37,9	+2,56	+21 45 27	+1,7
536	α Телескопа	3,51	B3 III	25 07,2	+4,45	−45 59 01	+2,1
537	λ Стрельца	2,81	K2 III	26 25,6	+3,70	−25 26 13	+2,1
538	α Щита	3,83	K3 III	33 50,7	+3,26	−08 15 46	+2,6
539	α Лиры	0,03	A0 V	36 05,4	+2,03	+38 45 34	+3,4
540	ζ Павлина	4,00	K2 III	40 07,4	+7,00	−71 27 08	+3,3
541	φ Стрельца	3,16	B8 III	44 05,6	+3,75	−27 01 04	+3,8
542	110 Геркулеса	4,19	F6 V	44 35,1	+2,58	+20 31 17	+3,5
543	β Щита	4,22	G5 II	45 50,8	+3,18	−04 46 33	+4,0
544	111 Геркулеса	4,36	A3 V	45 54,9	+2,65	+18 09 09	+4,1
545	β Лиры	3,42	Bpe	49 09,3	+2,22	+33 19 58	+4,3
546	λ Павлина	4,21	B2 II	49 54,3	+5,55	−62 13 06	+4,3
547	σ Стрельца	2,09	B2 V	53 42,9	+3,72	−26 19 45	+4,6
548	R Лиры	4,00	M5 III	54 34,4	+1,83	+43 54 45	+4,8
549	θ Змеи pr	4,07	A5 V	54 58,5	+2,98	+04 10 12	+4,8
550	ξ^2 Стрелвца	3,51	K1 III	56 14,3	+3,58	−21 08 27	+4,9
551	γ Лиры	3,24	B9 III	58 00,4	+2,24	+32 39 16	+5,0
552	ε Орла	4,02	K2 III	58 29,2	+2,72	+15 02 00	+5,0
553	ζ Орла	2,99	B9,5 V	19 04 15,6	+2,76	+13 49 31	+5,5
554	λ Орла	3,43	B9 V	04 55,3	+3,18	−04 55 16	+5,5
555	τ Стрельца	3,31	K1 III	05 22,8	+3,74	−27 42 30	+5,4
556	α Южной Короны	4,11	A2	07 46,3	+4,08	−37 56 42	+5,7
557	π Стрельца	2,88	F2 II	08 16,6	+3,57	−21 03 53	+5,8
558	δ Дракона	3,07	G9 III	12 33,1	+0,01	+67 37 03	+6,3
559	θ Лиры	4,37	K0 II	15 29,9	+2,08	+38 05 18	+6,5
560	τ Дракона	4,45	K3 III	16 02,3	−1,17	+73 18 34	+6,6
561	ϰ Лебедя	3,76	G9 III	16 31,4	+1,39	+53 19 19	+6,7
562	β^1 Стрельца	3,92	B8 V	20 50,6	+4,31	−44 30 27	+6,9
563	α Стрельца	3,96	B9 III	22 09,3	+4,15	−40 39 52	+6,9
564	δ Орла	3,36	F0 IV	24 14,2	+3,02	+03 03 50	+7,3
565	α Лисички	4,45	M0 III	27 39,8	+2,50	+24 36 48	+7,4
566	ι Лебедя	3,79	A5 V	29 04,5	+1,51	+51 40 33	+7,7
567	β Лебедя pr	3,08	K3 II	29 42,7	+2,42	+27 54 23	+7,6
568	μ Орла	4,45	K3 III	32 52,0	+2,93	+07 19 29	+7,7
569	θ Лебедя	4,47	F4 V	35 46,2	+1,61	+50 09 45	+8,4
570	β Стрелы	4,37	G8 II	39 55,5	+2,69	+17 25 02	+8,4
571	γ Орла	2,72	K3 II	45 04,2	+2,85	+10 33 05	+8,9
572	δ Стрелы	3,83	M2 II	46 16,3	+2,68	+18 28 18	+9,0
573	α Орла	0,76	A7 IV	49 33,8	+2,93	+08 48 05	+9,6
574	η Орла	3,50	F6 Ib	51 11,9	+3,05	+00 56 26	+9,3
575	ι Стрельца	4,12	K0 III	53 32,4	+4,13	−41 56 08	+9,6
576	β Орла	3,72	G8 IV	54 05,0	+2,95	+06 20 36	+9,1
577	η Лебедя	3,93	K0 III	55 22,0	+2,25	+35 00 58	+9,6
578	γ Стрелы	3,47	K5 III	57 38,6	+2,67	+19 25 24	+9,9
579	ε Павлина	3,93	A0 V	57 43,6	+6,89	−72 58 44	+9,7
580	θ^1 Стрельца	4,35	B3 IV	58 06,7	+3,90	−35 20 43	+9,9
581	ρ Дракона	4,51	K3 III	20 02 42,6	+0,26	+67 48 07	+10,2
582	δ Павлина	3,56	G5 IV	06 17,2	+5,86	−66 14 52	+9,4
583	ϰ Цефея	4,39	B9 III	09 45,4	−2,07	+77 38 13	+10,8
584	θ Орла	3,24	B9,5 III	10 00,9	+3,09	−00 53 48	+10,8
585	33 Лебедя	4,30	A3 IV	12 49,0	+1,39	+56 29 27	+11,1
586	o^2 Лебедя	3,80	K3 Ib	12 50,6	+1,89	+46 39 54	+11,0
587	α^1 Козерога	4,26	G3 Ib	16 15,7	+3,32	−12 35 12	+11,2

№	a	b	c	d	a′	b′	c′	d′
534	$+0^{s},199$	$-0^{s},004$	$+0^{s},008$	$-0^{s},080$	+0″,098	+0″,995	−0″,204	−0″,055
535	+0,127	+0,003	+0,007	−0,071	+0,099	+0,995	+0,772	+0,037
536	+0,222	−0,008	+0,010	−0,095	+0,109	+0,994	−0,414	−0,079
537	+0,185	−0,004	+0,008	−0,073	+0,115	+0,993	−0,035	−0,049
538	+0,163	−0,001	+0,010	−0,067	+0,147	+0,989	+0,287	−0,021
539	+0,100	+0,008	+0,013	−0,084	+0,157	+0,988	+0,956	+0,098
540	+0,349	−0,035	+0,037	−0,206	+0,174	+0,985	−0,796	−0,165
541	+0,187	−0,007	+0,014	−0,073	+0,191	+0,982	−0,060	−0,087
542	+0,129	+0,005	+0,014	−0,070	+0,193	+0,981	+0,750	+0,068
543	+0,159	−0,001	+0,013	−0,066	+0,199	+0,980	+0,351	−0,017
544	+0,132	+0,004	+0,014	−0,069	+0,199	+0,980	+0,717	+0,062
545	+0,110	+0,009	+0,017	−0,078	+0,213	+0,977	+0,899	+0,117
546	+0,277	−0,027	+0,031	−0,140	+0,216	+0,976	−0,662	−0,191
547	+0,185	−0,008	+0,017	−0,072	+0,232	+0,973	−0,043	−0,103
548	+0,091	+0,015	+0,022	−0,090	+0,236	+0,972	+0,986	+0,164
549	+0,149	+0,001	+0,016	−0,065	+0,238	+0,971	+0,503	+0,017
550	+0,178	−0,006	+0,017	−0,069	+0,243	+0,970	+0,055	−0,088
551	+0,112	+0,011	+0,020	−0,077	+0,250	+0,968	+0,887	+0,135
552	+0,136	+0,005	+0,017	−0,067	+0,252	+0,968	+0,670	+0,065
553	+0,138	+0,005	+0,019	−0,066	+0,277	+0,961	+0,651	+0,066
554	+0,159	−0,002	+0,019	−0,064	+0,279	+0,960	+0,350	−0,024
555	+0,187	−0,010	+0,021	−0,072	+0,281	+0,960	−0,062	−0,131
556	+0,203	−0,015	+0,025	−0,081	+0,291	+0,957	−0,246	−0,179
557	+0,178	−0,008	+0,021	−0,068	+0,294	+0,956	+0,061	−0,105
558	−0,001	+0,050	+0,055	−0,166	+0,311	+0,950	+1,044	+0,288
559	+0,104	+0,017	+0,027	−0,080	+0,323	+0,946	+0,925	+0,200
560	−0,057	+0,072	+0,076	−0,219	+0,326	+0,945	+1,030	+0,312
561	+0,069	+0,029	+0,037	−0,105	+0,328	+0,945	+1,017	+0,263
562	+0,215	−0,023	+0,032	−0,088	+0,345	+0,938	−0,349	−0,242
563	+0,207	−0,020	+0,031	−0,082	+0,351	+0,936	−0,281	−0,229
564	+0,150	+0,001	+0,024	−0,062	+0,359	+0,933	+0,483	+0,019
565	+0,125	+0,011	+0,027	−0,068	+0,373	+0,928	+0,781	+0,155
566	+0,075	+0,032	+0,041	−0,099	+0,379	+0,925	+0,995	+0,297
567	+0,121	+0,013	+0,029	−0,070	+0,382	+0,924	+0,816	+0,179
568	+0,145	+0,003	+0,026	−0,062	+0,394	+0,919	+0,547	+0,050
569	+0,080	+0,032	+0,042	−0,095	+0,406	+0,914	+0,980	+0,312
570	+0,134	+0,009	+0,030	−0,063	+0,422	+0,906	+0,685	+0,126
571	+0,142	+0,005	+0,030	−0,061	+0,443	+0,897	+0,590	+0,081
572	+0,133	+0,010	+0,031	−0,063	+0,447	+0,894	+0,695	+0,142
573	+0,144	+0,005	+0,031	−0,060	+0,460	+0,888	+0,564	+0,070
574	+0,152	+0,001	+0,031	−0,059	+0,466	+0,885	+0,448	+0,008
575	+0,206	−0,028	+0,043	−0,079	+0,475	+0,880	−0,265	−0,318
576	+0,147	+0,004	+0,032	−0,059	+0,477	+0,879	+0,528	+0,053
577	+0,112	+0,023	+0,039	−0,071	+0,482	+0,876	+0,858	+0,277
578	+0,133	+0,012	+0,035	−0,062	+0,491	+0,871	+0,699	+0,163
579	+0,343	−0,107	+0,112	−0,198	+0,491	+0,871	−0,706	−0,470
580	+0,194	−0,023	+0,040	−0,071	+0,493	+0,870	−0,150	−0,285
581	+0,013	+0,083	+0,090	−0,152	+0,510	+0,860	+0,960	+0,472
582	+0,282	−0,079	+0,087	−0,141	+0,524	+0,852	−0,605	−0,479
583	−0,103	+0,163	+0,167	−0,263	+0,536	+0,844	+0,917	+0,524
584	+0,154	−0,001	+0,036	−0,056	+0,537	+0,843	+0,420	−0,008
585	+0,069	+0,055	+0,066	−0,101	+0,548	+0,837	+0,937	+0,457
586	+0,094	+0,039	+0,053	−0,081	+0,548	+0,837	+0,906	+0,398
587	+0,166	−0,008	+0,038	−0,057	+0,560	+0,828	+0,243	−0,122

№	Название звезды		Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
588	α²	Козерога	$3^m,58$	G9 III	$20^h16^m40^s,0$	$+3^s,33$	−12° 37′ 24″	+11″,3
589	β	Козерога	3,08	F8 V	19 36,4	+3,37	−14 51 41	+11,5
590	γ	Лебедя	2,23	F8 Ib	21 19,8	+2,15	+40 10 34	+11,6
591	39	Лебедя	4,44	K3 III	22 51,5	+2,39	+32 06 30	+11,7
592	α	Павлина	1,94	B3 IV	23 40,7	+4,73	−56 49 00	+11,7
593	41	Лебедя	4,02	F5 II	28 22,3	+2,45	+30 17 04	+12,1
594	θ	Цефея	4,22	A7 III	29 09,8	+1,00	+62 54 35	+12,1
595	ε	Дельфина	4,04	B6 III	32 01,0	+2,87	+11 13 03	+12,3
596	α	Индейца	3,11	K0 III	35 48,9	+4,21	−47 22 48	+12,7
597	α	Дельфина	3,77	B9 V	38 28,5	+2,79	+15 49 23	+12,8
598	α	Лебедя	1,25	A2 Ia	40 34,7	+2,05	+45 11 26	+12,9
599	δ	Дельфина	4,44	A7 III	42 17,4	+2,80	+14 59 03	+13,0
600	β	Павлина	3,41	A5 IV	42 43,4	+5,38	−66 17 40	+13,1
601	ψ	Козерога	4,13	F5 V	44 37,0	+3,55	−25 21 43	+13,0
602	*7955*	Цефея	4,52	K8 IV	44 43,8	+1,49	+57 29 23	+13,0
603	η	Цефея	3,43	K0 IV	44 46,9	+1,22	+61 44 29	+14,0
604	ε	Лебедя	2,46	K0 III	45 11,9	+2,43	+33 52 33	+13,6
605	γ	Дельфина	3,91	K1 IV	45 29,8	+2,78	+16 02 00	+13,1
606	ε	Водолея	3,77	A2 V	46 19,4	+3,24	−09 35 18	+13,3
607	k	Водолея	4,44	M3 III	46 25,1	+3,16	−05 07 13	+13,3
608	ω	Козерога	4,12	M1 III	50 19,9	+3,57	−27 00 49	+13,6
609	β	Индейца	3,64	K0 III	52 52,0	+4,67	−58 32 59	+13,7
610	ν	Лебедя	3,94	A1 V	56 14,4	+2,24	+41 04 13	+13,9
611	ξ	Лебедя	3,70	K5 Ib	21 04 01,2	+2,18	+43 49 39	+14,4
612	θ	Козерога	4,07	A1 V	04 32,6	+3,37	−17 19 59	+14,4
613	A	Козерога	4,49	M1 III	05 40,0	+3,50	−25 06 24	+14,5
614	ν	Водолея	4,52	G8 III	08 14,0	+3,26	−11 28 26	+14,7
615	ζ	Лебедя	3,20	G8 II	11 52,2	+2,55	+30 07 26	+14,8
616	α	Малого Коня	3,90	G0 III	14 34,4	+3,00	+05 08 37	+15,0
617	σ	Лебедя	4,23	B9 Iab	16 25,9	+2,36	+39 17 22	+15,1
618	υ	Лебедя	4,42	B2 V	16 53,2	+2,47	+34 47 29	+15,2
619	α	Цефея	2,45	A7 IV	17 58,9	+1,43	+62 28 46	+15,3
620	ι	Козерога	4,27	G8 III	20 51,3	+3,34	−16 56 31	+15,4
621	1	Пегаса	4,09	K1 III	20 55,7	+2,78	+19 41 49	+15,5
622	γ	Павлина	4,22	F8 V	24 23,8	+4,93	−65 28 50	+16,4
623	ζ	Козерога	3,74	G4 Ib	25 14,5	+3,42	−22 31 14	+15,7
624	β	Цефея	3,23	B2 III	28 20,5	+0,76	+70 27 03	+15,8
625	β	Водолея	2,87	G0 Ib	30 14,6	+3,16	−05 40 55	+15,9
626	ρ	Лебедя	4,02	G8 III	33 02,3	+2,26	+45 28 51	+16,0
627	γ	Козерога	3,67	F0 III	38 42,4	+3,32	−16 46 34	+16,3
628	ν	Октанта	3,75	K0 III	38 45,4	+6,58	−77 30 09	+16,1
629	ε	Пегаса	2,39	K2 Ib	42 57,4	+2,95	+09 45 35	+16,6
630	ι	Южной Рыбы	4,34	A0 VSi	43 27,7	+3,57	−33 08 26	+16,5
631	ν	Цефея	4,29	A2 Ia	44 43,5	+1,73	+61 00 18	+16,7
632	δ	Козерога	2,83	A6	45 39,7	+3,31	−16 14 29	+16,4
633	π²	Лебедя	4,24	B3 III	45 52,0	+2,22	+49 11 37	+16,7
634	γ	Журавля	3,01	B8 III	52 25,1	+3,62	−37 28 59	+17,0
635	α	Володея	2,93	G2 Ib	22 04 30,0	+3,08	−00 26 31	+17,5
636	λ	Журавля	4,46	M0 III	04 36,8	+3,61	−39 39 53	+17,4
637	ι	Водолея	4,25	B8 V	05 05,2	+3,24	−13 59 30	+17,5
638	ι	Пегаса	3,76	F5 V	05 50,7	+2,80	+25 13 21	+17,6
639	α	Журавля	1,74	B5 V	06 39,8	+3,77	−47 04 58	+17,5
640	μ	Южной Рыбы	4,50	A2 V	06 55,7	+3,49	−33 06 41	+17,6
641	π	Пегаса	4,29	F5 II	08 52,4	+2,67	+33 03 18	+17,7

№	a	b	c	d	a′	b′	c′	d′
588	+0ˢ,166	−0ˢ,008	+0ˢ,038	−0ˢ,057	+0″,562	+0″,827	+0″,242	−0″,123
589	+0,168	−0,010	+0,039	−0,057	+0,572	+0,820	+0,209	−0,147
590	+0,107	+0,033	+0,050	−0,071	+0,578	+0,816	+0,858	+0,373
591	+0,119	+0,024	+0,046	−0,064	+0,584	+0,812	+0,799	+0,310
592	+0,236	−0,060	+0,071	−0,099	+0,587	+0,810	−0,440	−0,491
593	+0,122	+0,023	+0,047	−0,062	+0,603	+0,798	+0,777	+0,304
594	+0,050	+0,079	+0,089	−0,116	+0,606	+0,796	+0,906	+0,539
595	+0,143	+0,008	+0,042	−0,054	+0,616	+0,788	+0,579	+0,120
596	+0,210	−0,046	+0,062	−0,077	+0,629	+0,778	−0,279	−0,463
597	+0,139	+0,012	+0,044	−0,053	+0,638	+0,770	+0,627	+0,174
598	+0,102	+0,043	+0,061	−0,072	+0,645	+0,764	+0,848	+0,457
599	+0,140	+0,012	+0,045	−0,052	+0,650	+0,760	+0,615	+0,168
600	+0,268	−0,099	+0,108	−0,126	+0,652	+0,758	−0,520	−0,597
601	+0,177	−0,021	+0,049	−0,056	+0,658	+0,753	+0,069	−0,282
602	+0,075	+0,069	+0,082	−0,093	+0,658	+0,753	+0,868	+0,555
603	+0,060	+0,082	+0,093	−0,106	+0,659	+0,752	+0,868	+0,580
604	+0,120	+0,030	+0,053	−0,060	+0,660	+0,751	+0,779	+0,368
605	+0,139	+0,013	+0,046	−0,052	+0,661	+0,750	+0,624	+0,183
606	+0,162	−0,007	+0,045	−0,051	+0,664	+0,748	+0,303	−0,111
607	+0,158	−0,004	+0,044	−0,050	+0,664	+0,748	+0,365	−0,059
608	+0,178	−0,023	+0,051	−0,055	+0,677	+0,736	+0,052	−0,307
609	+0,233	−0,075	+0,087	−0,093	+0,685	+0,729	−0,395	−0,584
610	+0,112	+0,040	+0,061	−0,064	+0,695	+0,719	+0,799	+0,457
611	+0,109	+0,046	+0,066	−0,064	+0,719	+0,695	+0,794	+0,498
612	+0,168	−0,015	+0,050	−0,048	+0,721	+0,693	+0,207	−0,215
613	+0,175	−0,023	+0,053	−0,051	+0,724	+0,689	+0,100	−0,307
614	+0,162	−0,010	+0,050	−0,046	+0,732	+0,681	+0,289	−0,146
615	+0,127	+0,029	+0,057	−0,052	+0,743	+0,670	+0,711	+0,373
616	+0,149	+0,005	+0,050	−0,044	+0,751	+0,661	+0,491	+0,067
617	+0,118	+0,041	+0,065	−0,056	+0,756	+0,655	+0,750	+0,479
618	+0,123	+0,035	+0,061	−0,053	+0,757	+0,653	+0,729	+0,432
619	+0,070	+0,097	+0,110	−0,094	+0,760	+0,650	+0,776	+0,674
620	+0,166	−0,016	+0,054	−0,045	+0,768	+0,640	+0,228	−0,224
621	+0,138	+0,018	+0,054	−0,045	+0,769	+0,640	+0,624	+0,259
622	+0,245	−0,114	+0,125	−0,101	+0,778	+0,628	−0,391	−0,708
623	+0,171	−0,022	+0,056	−0,045	+0,781	+0,625	+0,161	−0,299
624	+0,038	+0,148	+0,157	−0,122	+0,789	+0,614	+0,724	+0,743
625	+0,157	−0,005	+0,053	−0,041	+0,794	+0,608	+0,371	−0,079
626	+0,113	+0,054	+0,076	−0,057	+0,801	+0,598	+0,731	+0,571
627	+0,165	−0,016	+0,057	−0,040	+0,816	+0,578	+0,248	−0,235
628	+0,327	−0,245	+0,251	−0,178	+0,816	+0,578	−0,470	−0,797
629	+0,147	+0,009	+0,056	−0,038	+0,826	+0,563	+0,523	+0,140
630	+0,178	−0,036	+0,066	−0,045	+0,828	+0,561	+0,056	−0,453
631	+0,086	+0,100	+0,114	−0,077	+0,831	+0,557	+0,697	+0,727
632	+0,164	−0,016	+0,058	−0,038	+0,833	+0,553	+0,262	−0,233
633	+0,111	+0,064	+0,085	−0,056	+0,834	+0,552	+0,702	+0,631
634	+0,180	−0,043	+0,071	−0,044	+0,849	+0,528	+0,023	−0,517
635	+0,154	−0,000	+0,058	−0,032	+0,876	+0,483	+0,430	−0,007
636	+0,180	−0,048	+0,076	−0,042	+0,876	+0,482	+0,026	−0,559
637	+0,161	−0,015	+0,060	−0,033	+0,877	+0,481	+0,305	−0,212
638	+0,138	+0,028	+0,065	−0,035	+0,878	+0,478	+0,596	+0,374
639	+0,187	−0,063	+0,086	−0,046	+0,880	+0,475	−0,052	−0,645
640	+0,174	−0,038	+0,070	−0,038	+0,881	+0,474	+0,104	−0,481
641	+0,133	+0,038	+0,070	−0,037	+0,885	+0,466	+0,618	+0,483

№		Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α	Годовое изменение α	δ	Годовое изменение δ
642	θ	Пегаса	$3^m,52$	A3 V	$22^h08^m56^s,2$	$+3^s,03$	+06° 04′ 28″	+17″,8
643	ζ	Цефея	3,35	K1 Ib	09 59,0	+2,08	+58 04 40	+17,8
644	8485	Ящерицы	4,49	K3 III	12 48,1	+2,58	+39 35 26	+17,9
645	θ	Водолея	4,15	G8 III	15 30,9	+3,16	−07 54 30	+18,0
646	α	Тукана	2,85	K3 III	16 48,2	+4,09	−60 23 06	+18,0
647	γ	Водолея	3,84	A9 III	20 21,9	+3,10	−01 30 50	+18,2
648	β	Ящерицы	4,44	G9 III	22 34,4	+2,36	+52 06 12	+18,1
649	δ^1	Журавля	3,97	G5 I	27 46,8	+3,58	−43 37 26	+18,4
650	δ	Цефея	4,34	F5 Ib	28 14,3	+2,23	+58 17 13	+18,5
651	5	Ящерицы	4,37	M0 Iab	28 29,0	+2,50	+47 34 42	+18,5
652	6	Ящерицы	4,51	B2 I	29 24,2	+2,59	+42 59 41	+18,5
653	β	Южной Рыбы	4,29	A0 V	30 05,2	+3,40	−32 28 29	+18,5
654	α	Ящерицы	3,77	A1 V	30 15,4	+2,48	+50 09 13	+18,5
655	η	Водолея	4,00	B8 V	34 04,3	+3,08	−00 14 48	+18,6
656	ε	Южной Рыбы	4,16	B8 V	39 16,5	+3,31	−27 10 28	+18,8
657	ζ	Пегаса	3,40	B8 V	40 12,8	+2,99	+10 42 02	+18,8
658	β	Журавля	2,11	M5 III	41 10,8	+3,57	−47 00 57	+18,9
659	η	Пегаса	2,95	G8 II	41 49,6	+2,82	+30 05 25	+18,9
660	β	Октанта	4,14	A9 V	43 35,6	+5,98	−81 30 48	+18,9
661	λ	Пегаса	3,94	G8 II	45 19,5	+2,89	+23 26 02	+19,0
662	ε	Журавля	3,49	A2 V	47 03,1	+3,61	−51 26 55	+19,0
663	τ	Водолея	3,98	M0 III	48 16,1	+3,17	−13 43 30	+19,0
664	ι	Цефея	3,53	K1 III	48 47,1	+2,14	+66 04 08	+19,0
665	μ	Пегаса	3,48	G8 III	48 47,6	+2,90	+24 28 09	+19,0
666	λ	Водолея	3,79	M2 III	51 18,6	+3,13	−07 42 47	+19,2
667	δ	Водолея	3,28	A3 V	53 19,4	+3,18	−15 57 15	+19,2
668	α	Южной Рыбы	1,16	A3 V	56 16,3	+3,31	−29 45 18	+19,1
669	ζ	Журавля	4,11	G5 III	59 24,7	+3,53	−52 53 19	+19,3
670	ο	Андромеды	3,62	B6 I	23 00 46,0	+2,77	+42 11 29	+19,4
671	β	Пегаса	2,42	M2 II	02 33,5	+2,91	+27 56 49	+19,6
672	β	Рыб	4,52	B5 Ve	02 36,2	+3,05	+03 41 07	+19,4
673	α	Пегаса	2,48	B9 V	03 30,8	+2,99	+15 04 14	+19,4
674	55	Пегаса	4,51	M2 III	05 44,6	+3,02	+09 16 27	+19,5
675	c^2	Водолея	3,64	K2 II	08 06,9	+3,19	−21 18 30	+19,6
676	ι	Журавля	3,90	K0 III	08 56,9	+3,39	−45 22 57	+19,5
677	φ	Водолея	4,22	M2 III	13 01,6	+3,11	−06 11 02	+19,4
678	ψ^1	Водолея	4,25	K0 III	14 34,9	+3,14	−09 13 27	+19,6
679	γ	Рыб	3,69	G8 III	15 52,1	+3,11	+03 08 44	+19,7
680	γ	Тукана	3,98	F0 III	15 58,8	+3,48	−58 22 23	+19,8
681	γ	Скульптора	4,41	G8 III	17 28,6	+3,23	−32 40 06	+19,6
682	b^1	Водолея	3,98	K0 III	21 39,5	+3,15	−20 14 14	+19,7
683	υ	Пегаса	4,41	F8 IV	24 07,7	+3,00	+23 15 59	+19,8
684	θ	Рыб	4,28	K1 III	26 41,9	+3,04	+06 14 29	+19,8
685	β	Скульптора	4,37	B9 V	31 38,0	+3,21	−37 57 25	+19,9
686	λ	Андромеды	3,82	G8 III	36 20,1	+2,94	+46 19 22	+19,5
687	ι	Андромеды	4,29	B8 V	36 54,3	+2,95	+43 07 47	+19,9
688	γ	Цефея	3,21	K1 IV	38 18,4	+2,48	+77 29 34	+20,1
689	ι	Рыб	4,13	F7 V	38 39,8	+3,09	+05 29 27	+19,5
690	ϰ	Андромеды	4,14	B9 IV	39 10,3	+2,96	+44 11 44	+19,9
691	λ	Рыб	4,51	A7 V	40 46,2	+3,06	+01 38 33	+19,8
692	ω^2	Водолея	4,51	B9,5 V	41 25,5	+3,11	−14 41 00	+19,9
693	ρ	Кассиопеи	4,3	G0 Ia	53 07,5	+3,01	+57 21 37	+20,0
694	ω	Рыб	4,01	F4 IV	58 01,5	+3,08	+06 43 30	+19,9
695	ε	Тукана	4,49	B8 V	58 37,7	+3,10	−65 42 59	+20,0

№	a	b	c	d	a′	b′	c′	d′
642	$+0^s,150$	$+0^s,006$	$+0^s,059$	$-0^s,031$	$+0'',885$	$+0'',466$	$+0'',480$	$+0'',094$
643	+0,104	+0,095	+0,112	−0,058	+0,887	+0,462	+0,621	+0,753
644	+0,128	+0,049	+0,077	−0,039	+0,893	+0,451	+0,621	+0,569
645	+0,157	−0,008	+0,060	−0,030	+0,898	+0,440	+0,369	−0,124
646	+0,204	−0,106	+0,121	−0,059	+0,900	+0,435	−0,164	−0,783
647	+0,154	−0,002	+0,060	−0,028	+0,907	+0,421	+0,422	−0,024
648	+0,118	+0,078	+0,099	−0,045	+0,911	+0,412	+0,592	+0,719
649	+0,178	−0,058	+0,085	−0,036	+0,920	+0,392	+0,044	−0,635
650	+0,111	+0,099	+0,117	−0,049	+0,921	+0,390	+0,560	+0,783
651	+0,125	+0,067	+0,091	−0,038	+0,921	+0,389	+0,580	+0,680
652	+0,129	+0,057	+0,084	−0,035	+0,923	+0,385	+0,580	+0,629
653	+0,170	−0,039	+0,073	−0,030	+0,924	+0,382	+0,161	−0,496
654	+0,123	+0,074	+0,096	−0,040	+0,924	+0,382	+0,571	+0,710
655	+0,153	−0,0	+0,062	−0,024	+0,931	+0,366	+0,432	−0,004
656	+0,165	−0,032	+0,070	−0,026	+0,939	+0,345	+0,228	−0,429
657	+0,149	+0,012	+0,064	−0,023	+0,940	+0,341	+0,489	+0,175
658	+0,177	−0,067	+0,092	−0,033	+0,941	+0,337	+0,049	−0,689
659	+0,140	+0,036	+0,073	−0,026	+0,942	+0,335	+0,543	+0,472
660	+0,299	−0,422	+0,427	−0,148	+0,945	+0,327	−0,260	−0,935
661	+0,144	+0,027	+0,069	−0,023	+0,947	+0,320	+0,525	+0,377
662	+0,179	−0,079	+0,102	−0,033	+0,950	+0,313	+0,025	−0,743
663	+0,158	−0,015	+0,065	−0,021	+0,951	+0,308	+0,348	−0,226
664	+0,107	+0,143	+0,156	−0,050	+0,952	+0,306	+0,455	+0,870
665	+0,144	+0,029	+0,070	−0,022	+0,952	+0,306	+0,521	+0,394
666	+0,156	−0,009	+0,064	−0,020	+0,955	+0,295	+0,390	−0,128
667	+0,159	−0,018	+0,066	−0,020	+0,958	+0,287	+0,338	−0,263
668	+0,164	−0,037	+0,074	−0,021	+0,962	+0,274	+0,240	−0,477
669	+0,176	−0,085	+0,107	−0,029	+0,965	+0,261	+0,053	−0,770
670	+0,138	+0,058	+0,087	−0,023	+0,967	+0,255	+0,493	+0,649
671	+0,145	+0,034	+0,073	−0,019	+0,969	+0,248	+0,499	+0,454
672	+0,152	+0,004	+0,065	−0,017	+0,969	+0,248	+0,449	+0,062
673	+0,149	+0,017	+0,067	−0,017	+0,970	+0,244	+0,482	+0,252
674	+0,151	+0,011	+0,066	−0,016	+0,972	+0,235	+0,466	+0,157
675	+0,159	−0,025	+0,070	−0,016	+0,974	+0,224	+0,322	−0,354
676	+0,168	−0,066	+0,093	−0,021	+0,975	+0,221	+0,147	−0,694
677	+0,155	−0,007	+0,066	−0,014	+0,979	+0,204	+0 409	−0,105
678	+0,155	−0,011	+0,066	−0,013	+0,980	+0,197	+0,396	−0,157
679	+0,153	+0,004	+0,066	−0,013	+0,982	+0,191	+0,443	+0,054
680	+0,174	−0,106	+0,125	−0,024	+0,982	+0,191	+0,065	−0,836
681	+0,161	−0,042	+0,078	−0,015	+0,983	+0,184	+0,265	−0,531
682	+0,157	−0,024	+0,070	−0,012	+0,986	+0,167	+0,349	−0,341
683	+0,149	+0,028	+0,072	−0,011	+0,988	+0,156	+0,460	+0,390
684	+0,152	+0,007	+0,066	−0,010	+0,989	+0,145	+0,447	+0,108
685	+0,160	−0,052	+0,084	−0,010	+0,992	+0,123	+0,266	−0,610
686	+0,146	+0,069	+0,096	−0,010	+0,995	+0,103	+0,374	+0,719
687	+0,147	+0,062	+0,091	−0,009	+0,995	+0,101	+0,385	+0,680
688	+0,125	+0,299	+0,306	−0,029	+0,996	+0,095	+0,186	+0,972
689	+0,153	+0,006	+0,067	−0,006	+0,996	+0,093	+0,441	+0,095
690	+0,147	+0,065	+0,093	−0,008	+0,996	+0,091	+0,374	+0,694
691	+0,153	+0,002	+0,066	−0,006	+0,996	+0,084	+0,436	+0,029
692	+0,155	−0,017	+0,069	−0,006	+0,997	+0,081	+0,399	−0,253
693	+0,150	+0,104	+0,124	−0,004	+1,000	+0,030	+0,259	+0,842
694	+0,153	+0,008	+0,067	−0,001	+1,000	+0,009	+0,432	+0,117
695	+0,154	−0,148	+0,162	−0,001	+1,000	+0,006	+0,173	−0,912

Каталог всех звезд ярче $4^m,5$ в системе V

В столбцах даны последовательно: 1) обозначения звезд в буквенной системе Байера, либо в цифровой системе Флемстида, либо (курсивом) номера Каталога ярких звезд Йельской обсерватории (3-е издание, 1964), 2) α_{1950}, 3) δ_{1950}, 4) звездная величина в системе V; добавление v означает переменность блеска, v? — подозрение в переменности блеска, 5) спектр; для подавляющего числа звезд в двумерной классификации МК, 6) параллакс в тысячных долях секунды дуги; dyn — динамические параллаксы, 7) собственное движение по α, 8) то же по δ, также выраженные в тысячных долях секунды дуги, 9) лучевая скорость; v — переменная V_r, v? — подозрение в переменности лучевой скорости, 10) и 11) галактические долгота и широта в новой системе координат, 12) № примечания в конце Каталога.

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
α And	$0^h05^m,8$	+28° 49′	$2^m,06$	B8p III	24	+134	−161	−12v	112°	−33°	1
β Cas	06,5	+58 52	2,27v	F2 IV	72	+527	−178	+12v	118	−3	2
ε Phe	06,9	−46 01	3,88	K0 III	59	+124	−179	−9	324	−70	
γ Peg	10,7	+14 54	2,84v	B2 IV	7	−1	−10	+4v	109	−47	3
7 Cet	12,1	−19 13	4,46v?	M2III	26	−28	−63	−23	75	−78	4
σ And	15,7	+36 30	4,52v?	A2 V	15	−65	−36	−8v	116	−26	
ι Cet	16,9	−09 06	3,55	K2 III	10	−18	−29	+19	99	−70	
ζ Tuc	17,5	−65 10	4,23	G2 V	134	+1708	+1163	+9	308	−52	
β Hyi	23,2	−77 32	2,80v?	G1 IV	153	+2223	+326	+23	305	−40	
κ Phe	23,7	−43 57	3,94	A7n V	66	+102	+30	+9	318	−73	
α Phe	23,8	−42 35	2,40	K0 III	35	+198	−395	+75v	320	−74	
β¹ Tuc	29,3	−63 14	4,36	B8 V	30	+89	−54	+10v	307	−54	5
κ Cas	30,1	+62 39	4,16v?	B1 Ia	1	+4	+0	−2v	121	+0	
ζ Cas	34,2	+53 37	3,66v?	B2,5 IV	4	+18	−8	+2	121	−9	
π And	34,2	+33 27	4,36	B5 V	7	+13	−6	+9v	119	−29	6
ε And	35,9	+29 02	4,38	G8p III	31	−232	−249	−84	120	−33	
δ And	36,6	+30 35	3,28	K3 III	24	+133	−90	−7v	120	−32	7
α Cas	37,7	+56 16	2,23v?	K0 II−III	9	+50	−29	−4,1	121	−6	8
β Cet	41,1	−18 16	2,02v?	K1 III	57	+231	+40	+13,1	111	−81	
ο Cas	42,0	+48 00	4,50	B2 V	4	+17	−7	−8	122	−15	9
ζ And	44,7	+24 00	4,06v	K1 III	32	−104	−80	−24v	122	−39	10
η Cas	46,1	+57 33	3,44	G0 V	182±4	+1101	−523	+9	123	−5	11
δ Psc	46,1	+07 19	4,44	K5 III	16	+83	−47	+32	122	−55	
γ Cas	53,7	+60 27	2,39v	B0pe IV	34	+26	−2	−7	124	−2	12
μ And	54,0	+38 24	3,87	A5 V	32	+152	−34	+8	124	−24	
η And	54,5	+23 09	4,42	G8 III−IV	2	−37	−40	−10v	125	−39	
α Scl	56,2	−29 38	4,31v?	B8p III	12	+10	+5	+10	268	−87	
ε Psc	1 00,3	+07 37	4,28	K0 III	29	−82	+29	+7	128	−55	
2 UMi	01,5	+85 59	4,26	K2 III	13	+82	−6	+9	123	+23	
β Phe	03,9	−46 59	3,31v?	G8 III	17	−35	+3	−1	296	−70	13
η Cet	06,1	−10 27	3,45	K3 III	37	+212	−132	+12	137	−73	
ζ Phe	06,3	−55 31	3,94v	B6 V	13 dyn	+14	+27	+18v	298	−62	14
φ And	06,6	+46 59	4,25	B7 V	7	+6	−8	−0v?	126	−16	15
β And	06,9	+35 21	2,05	M0 III	43	+177	−113	+0	127	−27	
θ Cas	08,0	+54 53	4,34v?	A7 V	5	+228	−19	+9v	126	−8	
τ Psc	08,9	+29 49	4,51	K0 III−IV	20	+69	−36	+30v	128	−33	
θ Cet	21,5	−08 26	3,59	K0 III	34	−80	−215	+16	147	−70	
δ Cas	22,5	+59 59	2,68v	A5 V	29	+297	−47	+7	127	−2	16

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
γ Phe	$1^h26^m,2$	−43° 34′	$3^m,41v$?	K5IIb-IIIa	2	−28	−207	+26v	281°	−72°	
η Psc	28,8	+15 05	3,62v?	G8 III	18	+26	−6	+15	137	−46	17
δ Phe	29,2	−49 20	3,95	K0 III-IV	23	+131	+157	−7	286	−67	
υ And	33,9	+41 09	4,10	F8 V	62	−175	−378	−28	132	−21	
51 And	34,9	+48 23	3,57	K3 III	21	+63	−112	+16	131	−14	
α Eri	35,5	−57 29	0,47	B5 IV	32	+92	−34	+19v	291	−59	
ν Psc	38,8	+05 14	4,44	K3 III	34	−24	+5	0	145	−55	
φ Per	40,5	+50 26	4,06v	B1pe(III, V)	18	+24	−14	+1v	131	−11	18
τ Cet	41,7	−16 12	3,50	G8p V	275	−1718	+860	−17	173	−73	19
ο Psc	42,8	+08 54	4,46	G9 III	18	+71	+53	+14	145	−51	
α UMi	48,8	+89 02	2,02v	F8 Ib	+3	+46	−4	−17v	123	+26	20
ζ Cet	49,0	−10 35	3,72v?	K2 III	24	+34	−36	+9v	166	−68	
α Tri	50,2	+29 20	3,42	F6 IV	50	+10	−230	−13v	139	−31	
ε Cas	50,8	+63 26	3,38v?	B3 III	7	+35	−16	−8	130	+2	
$\gamma^{1,2}$ Ari	50,8	+19 03	3,88v?	B9 V+A1p	21	+78	−103	+4	143	−41	21
ψ Phe	51,6	−46 33	4,41v?	M4 III	5	−95	−87	+5v	274	−67	22
β Ari	51,9	+20 34	2,65v?	A5 V	63	+98	−110	−2v	142	−40	
χ Eri	54,0	−51 51	3,70v?	G5 IV	52	+674	+294	−6	281	−63	23
α Hyi	57,2	−61 49	2,86	F0 V	41	+263	+34	+1	289	−54	
υ Cet	57,6	−21 19	4,01	M1 III	3	+127	−18	+18	195	−73	
A Cas	57,8	+70 40	4,50	A3 IV	26	−64	+9	−5v	129	+9	24
50 Cas	59,1	+72 11	3,98	A2 V	25	−42	+27	−14v	128	+10	
α Psc	59,5	+02 31	3,82v?	A0p+A3m	25	+33	+1	+9v	155	−56	25
$\gamma^{1,2}$ And	2 00,8	+42 05	2,10	K3 II+A	5	+42	−51	−13	137	−19	26
α Ari	04,3	+23 14	2,00v?	K2 III	43	+192	−146	−14,4	145	−36	
β Tri	06,6	+34 46	3,00	A5 III	12	+150	−42	+10v	141	−25	
ξ^1 Cet	10,3	+08 37	4,37	G8 II	15	−24	−3	−4v	155	−49	
γ Tri	14,3	+33 37	4,01	A1nn V	36	+46	−48	+14v?	143	−26	
φ Eri	14,7	−51 45	3,56	B8 V	18	+85	−24	+10	275	−61	27
ο Cet	16,8	−03 12	2,00v	gM6e	13	−9	−232	+64v	168	−58	28
δ Hyi	20,9	−68 53	4,08	A2 V	42	−48	+8	+11	291	−46	
ι Cas	24,9	+67 11	4,51v	A5p II	21	−13	+16	+1v	132	+6	29
κ Eri	25,2	−47 56	4,25	B5 IV	6	+17	−7	+29v	267	−62	
ξ^2 Cet	25,5	+08 14	4,29	B9 III	22	+40	−4	+11v	160	−47	
δ Cet	36,9	+00 07	4,06v	B2 IV	4	+12	+2	+13v	171	−52	30
ι Eri	38,7	−40 04	4,11	K0 III	30	+133	−28	−9	249	−64	
ε Hyi	38,8	−68 29	4,10	B9 III	17	+92	+11	+6	289	−46	
γ Cet	40,7	+03 02	3,47	A3 V	48	−141	−147	−5	169	−49	31
θ Per	40,8	+49 01	4,13	F7 V	77	+337	−87	+25	141	−10	32
π Cet	41,7	−14 04	4,25	B7 V	10	−6	−12	+15	192	−61	
μ Cet	42,2	+09 54	4,27	F0 IV	40	+284	−30	+29v	163	−44	
τ^1 Eri	42,8	−18 47	4,46	F6 V	67	+331	+45	+26	201	−63	
39 Ari	44,9	+29 02	4,51	K1 III	22	+151	−121	−16	151	−27	
β For	47,0	−32 37	4,46	G6 III	18	+91	+163	+17v?	232	−64	
η Per	47,0	+55 41	3,77	K3 Ib+B9V	4	+21	−11	−1	139	−3	33
c Ari	47,0	+27 03	3,63v?	B8 V	31	+67	−113	+4v	153	−29	34
16 Per	47,4	+38 07	4,23	F2 III	20	+190	−106	+14	147	−19	
τ Per	50,7	+52 34	3,95v?	G4III+A4V	12	+2	−4	+2v	141	−6	35
η Eri	54,0	−09 06	3,87v?	K1 III−IV	29	+78	−213	−20	187	−55	
$\theta^{1,2}$ Eri	56,4	−40 30	2,91v?	A3 V	28	−55	+26	+12v	248	−61	36

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
α Cet	$2^h59^m,7$	+03° 54′	$2^m,53v$?	M2 III	3	−9	−74	−25,8	173°	−46°	
τ^1 Eri	3 00,2	−23 49	4,09	A4 V	51	−145	−46	−10	214	−60	
γ Per	01,2	+53 19	2,93	G8 III+A3	11	+3	−3	+3v	142	−4	37
ρ Per	02,0	+38 39	3,39v	M4 II-III	8	+132	−106	+28	150	−17	38
β Per	04,9	+40 46	2,12v	B8 V	37	+6	−1	+4v	149	−15	39
ι Per	05,4	+49 25	4,05	G0 V	84	+1267	−81	+50	145	−7	
ϰ Per	06,1	+44 40	3,77v?	K0 III	29	+181	−155	+29	147	−11	40
δ Ari	08,8	+19 32	4,34v?	K2 III	25	+153	−7	+25	163	−32	
α For	09,9	−29 11	3,85v?	F8 IV	70	+331	+642	−21	225	−59	41
τ^4 Eri	17,3	−21 56	3,70v?	M3 III	9	+53	+38	+42	212	−56	42
999 Ari	17,3	+28 52	4,47	K3 II-III	12	+1	−14	−2	158	−23	
e Eri	17,9	−43 16	4,27	G5 V	156	+3056	+744	+88	251	−56	
α Per	20,7	+49 41	1,80v?	F5 Ib	29	+25	−24	−2,8	147	−6	48
ο Tau	22,1	+08 51	3,60v?	G8 III	11	−65	−75	−21v	174	−38	
ξ Tau	24,5	+09 34	3,75	B8 V	17	+59	−32	−2v	174	−37	
35 Cam	25,0	+59 46	4,21v?	B9 Ia	1	+2	0	−7	141	+3	43
σ Per	27,0	+47 49	4,35v?	K3 III	2	+6	+22	+16	148	−7	
f Tau	28,1	+12 46	4,10	K0 II-III	17	+22	0	+15v	172	−34	
ε Eri	30,6	−09 38	3,73	K2 V	303	−975	+22	+15	196	−48	
τ^5 Eri	31,6	−21 48	4,28	B8 V	13	+44	−22	−14v	214	−53	
ψ Per	32,9	+48 02	4,23	B5e I	8	+27	−26	0	149	−6	
10 Tau	34,3	+00 15	4,28	F8 V	54	−234	−479	+28	185	−42	
δ Per	39,4	+47 38	3,01v?	B5 III	7	+30	−35	−9v	150	−6	
δ Eri	40,9	−09 56	3,54	K0 IV	109	−92	+744	−6	198	−46	
ο Per	41,2	+32 08	3,83v	B1 III	16	+11	−12	+17	160	−18	44
ν Per	41,8	+42 25	3,77v?	F5 II	14	−10	+2	−15	154	−10	45
17 Tau	41,9	+23 57	3,70	B6 III	19	+22	−45	+12	166	−24	
q Tau	42,2	+24 19	4,30	B6 V	11	+22	−44	+3	166	−24	
20 Tau	42,8	+24 13	3,87	B7 III	13	+23	−45	+7,6	166	−23	
23 Tau	43,4	+23 48	4,18v?	B6nn IV	11	+25	−44	+6	167	−24	
β Ret	43,6	−64 58	3,84	K0 IV	42	+305	+78	+50	279	−44	
π Eri	43,8	−12 15	4,42v?	M2 III	7	+47	+61	+46	202	−46	
η Tau	44,5	+23 57	2,87	B7 III	5	+23	−44	+10	167	−23	46
τ^6 Eri	44,7	−23 24	4,23	F3 V	53	−157	−524	+7	217	−50	
1155 Cam	44,9	+65 22	4,48v?	M2 IIa	12	−2	−8	−3v	140	+9	
27 Tau	46,2	+29 54	3,62	B8 III	11	+19	−45	+4	167	−23	47
f Eri	46,7	−37 46	4,27v?	B9+B8	18	+74	−23	+16	240	−52	48
g Eri	47,6	−36 21	4,17	G5 III	18	−51	−49	+2	238	−51	
γ Hyi	48,0	−74 24	3,23	M0 III	13	+51	+114	+15	289	−38	48
ζ Per	51,0	+31 44	2,85v?	B1 Ib	7	+10	−11	+18	162	−17	
w Eri	51,8	−03 76	4,45	A1 V+ +G5 III	11	+28	+6	+27	192	−40	50
ε Per	54,5	+39 52	2,89v?	B0,5 V	3	+23	−28	+1v	157	−10	51
γ Eri	55,7	−13 39	2,94v?	M0 III	3	+64	−109	+62	205	−44	52
ξ Per	55,7	+35 39	4,04v?	O7	2	+9	−1	+70v	160	−13	
λ Tau	57,9	+12 21	3,41v	B3 V+A4 IV	7	−6	−10	+15v	178°	−29°	53
γ Ret	4 00,2	−62 18	4,51v?	M5 III	—	−2	+26	−7v	275	−43	
ν Tau	00,5	+05 51	3,91	A1 V	22	+6	−2	−6	185	−33	
A^1 Tau	01,7	+21 57	4,37	K0 III	13	+92	−59	+9	171	−22	

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
λ Per	$4^h02^m,8$	+50 13	4,29	A0n IV	19	−7	−37	+6	152	−1	
MX Per	05,0	+47 35	4,03*v*	B3pe V	15	+25	−30	+3	154	−3	54
o^1 Eri	09,4	−06 58	4,05	F2 II-III	28	+9	+87	+11	199	−38	
μ Per	11,2	+48 17	4,14*v*?	G0 Ib	12	+10	−22	+8*v*	154	−2	55
α Hor	12,3	−42 25	3,86	K1 III	19	+38	−206	+22	247	−46	
μ Tau	12,8	+08 46	4,30	B3 V	8	+27	−23	+16	184	−29	
o^2 Eri	13,0	−07 44	4,43	K1 V	202	−2225	−3418	−42	201	−38	56
α Ret	13,8	−62 36	3,34	G6 II	8	+43	+48	+36	274	−42	57
γ Dor	14,7	−51 37	4,24*v*?	F5 V	53	+101	+186	+27	260	−45	
ε Ret	15,6	−59 25	4,44	K2 IVa	58	−55	−165	+29*v*?	270	−42	58
υ^4 Eri	16,0	−33 55	3,56	B8,5 V	18	+62	−2	+18*v*	235	−45	59
γ Tau	16,9	+15 31	3,65*v*?	K0 III	26	+119	−24	+39	179	−24	
δ Tau	20,0	+17 26	3,76*v*?	K1 III	16	+110	−31	+40	178	−22	
υ^3 Eri	22,2	−34 08	3,96	K5 III	8	+56	+52	+24	235	−44	
ϰ Tau	22,4	+22 11	4,22	A7 V	24	+100	−48	+40	175	−18	
68 Tau	22,6	+17 49	4,28	A2 IV	19 dyn	+112	−29	+35	178	−21	60
υ Tau	23,3	+22 42	4,28	A8n V	33	+108	−47	+35*v*	174	−16	
71 Tau	23,5	+15 30	4,50	F0 V	3	+114	−23	+41*v*	180	−23	
ε Tau	25,7	+19 04	3,54	K0 III	18	+112	−38	+39	178	−20	
θ^1 Tau	25,7	+15 51	3,83	K0 III	33	+105	−28	+40	180	−22	
θ^2 Tau	25,8	+15 46	3,39	A7n IV	35	+105	−26	+40*v*	180	−22	
υ^1 Eri	31,5	−29 52	4,51*v*?	G6 II	18	−107	−274	+20	230	−42	
d Tau	32,9	+10 04	4,26*v*?	A5m: V	30	+56	−45	+29*v*	186	−24	61
α Dor	32,9	−55 09	3,26	A0p III	11	+51	−1	+26	264	−41	62
α Tau	33,0	+16 25	0,86*v*?	K5 III	48	+69	−190	+54,1	181	−20	
e Per	33,2	+41 10	4,27	K4III+A3V	20	−11	−18	+5*v*	162	−4	
υ^2 Eri	33,6	−30 40	3,82	K0 III	11	−54	−11	−4	231	−41	
ν Eri	33,8	−03 27	3,92*v*	B2 III	3	0	+1	+15*v*	199	−31	63
c^1 Tau	35,4	+12 25	4,27	A6n V	18	+101	−12	+45*v*	185	−22	
l Eri	35,9	−14 24	3,87	K2 III	36	−73	−158	+42*v*	211	−36	64
R Dor	36,2	−62 11	4,41*v*	M7 III		−69	−85	+25	273	−39	65
54 Eri	38,3	−19 46	4,34*v*?	M4 III	2	+23	−94	−34	218	−37	66
α Cae	38,9	−41 58	4,45	F2 V	38	−148	−80	+1	246	−41	
τ Tau	39,2	+22 52	4,29	B3 V	8	+7	−16	+15*v*	177	−15	
μ Eri	43,0	−03 21	4,02	B5 IV	7	+15	−11	+10,5	201	−29	
π^3 Ori	47,1	+06 52	3,19*v*?	F6 V	125	+468	+18	+24,1	191	−23	
π^2 Ori	47,9	+08 49	4,35	A1n V	29	+4	−31	+24*v*	190	−22	
π^4 Ori	48,5	+05 31	3,68*v*?	B2 III	2	−1	+2	+23*v*	193	−24	
α Cam	49,2	+66 16	4,29	O9,5 Ia	1	+5	+8	+6	144	+14	
ω Eri	50,4	−05 32	4,40	A9 IV	7	−18	+24	−9*v*	204	−29	
π^5 Ori	51,6	+02 22	3,73	B2 III	2	−1	0	+23*v*	196	−25	67
7 Cam	53,3	+53 40	4,47	A1 V	10	−19	+6	−8*v*	154	+7	68
o^2 Ori	53,6	+13 26	4,06	K2 III	16	−73	−48	+1	187	−18	69
ι Aur	53,7	+33 05	2,69*v*?	K3 II	15	+8	−19	+18	171	−6	
π^6 Ori	56,0	+01 38	4,46*v*?	K2 II	12	+1	−2	+14	198	−24	
ε Aur	58,4	+43 45	2,99*v*	F0p Ia	4	+3	−7	−3*v*	163	+1	70
ζ Aur	59,0	+41 00	3,73*v*	K5 II+B	2	+15	−23	+12,8	165°	−0°	71
β Cam	59,0	+60 22	4,03	G0 Ib	7±6	−2	−15	−2,0	150	+11	72
η Aur	5 03,0	+41 10	3,18*v*?	B3 V	13	+29	−71	+7	165	+0	

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
ε Lep	$5^h03^m,3$	−22 26	3,19*v*?	K5 III	6	+25	−73	+1,0	223	−33	
β Eri	05,4	−05 09	2,79*v*?	A3 III	42	−93	−79	−8*v*?	205	−25	
λ Eri	06,8	−08 49	4,27*v*?	B2 IV	4	+3	0	+3	209	−27	
ι Lep	10,0	−11 56	4,44	B8 V	11	+26	−14	+25*v*?	213	−27	73
ρ Ori	10,7	+02 48	4,45*v*?	K3 III	8	+1	−5	+41*v*	198	−20	74
μ Lep	10,7	−16 16	3,29*v*?	B9p III	18	+42	−26	+27,7	217	−29	75
ϰ Lep	10,9	−13 00	4,36	B8 V	30	−15	−8	+18	214	−28	76
β Ori	12,1	−08 15	0,13*v*?	B8 Ia	3	+1	0	+21*v*	209	−25	77
α Aur	13,0	+45 57	0,08*v*?	G8 III: +F	73	+83	−427	+30*v*	163	+5	78
τ Ori	15,2	−06 54	3,59	B5 III	8	−15	−5	+20,1	208	−24	79
λ Ler	17,3	−13 14	4,29	B0,5 IV	2	−3	−5	+20,2	215	−26	
e Ori	21,5	−07 51	4,12	G8 III	6	−15	−42	−18,2	210	−23	
η Ori	22,0	−02 26	3,35*v*	B0,5 V	4	+7	+4	+20*v*	205	−20	80
γ Ori	22,4	+06 18	1,64*v*?	B2 III	26	−6	−14	+18,5	197	−16	
β Tau	23,1	+28 34	1,65	B7 III	19	+30	−175	+8,0	178	−4	
β Lep	26,1	−20 48	2,84*v*?	G5 III	14	0	−90	−13,5	223	−27	81
A Ori	28,1	+03 55	4,20	B5 IV-V	1	+12	−34	+19	198	−15	82
CE Tau	29,3	+18 33	4,35*v*	M2 Ib	2	+6	−4	+23	187	−8	83
ε Col	29,4	−35 30	3,87	K1 II	2	+23	−37	−5	214	−31	
δ Ori	29,4	−00 20	2,24*v*	O9,5 II	4	+9	−3	+16*v*	204	−18	84
α Lep	30,5	−17 51	2,57	F0 Ib	2	+3	+5	+24,7	221	−25	85
φ¹ Ori	32,1	+09 27	4,41	B0 IV	2	+4	−4	+33,2*v*	195	−12	
λ Ori	32,4	+09 54	3,39*v*?	O8/B0,5 V	6	+1	−6	+34	195	−12	86
ι Ori	33,0	−06 56	2,77*v*?	O9 III	21	+3	+4	+21,5*v*	210	−20	87
β Dor	33,2	−62 31	3,40*v*	F8 Ia	7	−7	+4	+8*v*	272	−33	88
ε Ori	33,7	−01 14	1,69	B0 Ia	2	0	0	+26,1	205	−17	
φ² Ori	34,2	+09 16	4,09	K0 III	24	+93	−305	+98,8	196	−12	
ζ Tau	34,7	+21 07	3,03*v*?	B2p III:	6	+6	−22	+24,3*v*	186	−6	
σ Ori	36,2	−02 38	3,80	O9,5 V	2	0	+4	+29,2*v*	207	−17	89
α Col	37,8	−34 06	2,64*v*?	B8e V	22	−1	−26	+35	239	−29	90
ζ Ori	38,2	−01 58	1,77	O9,5 Ib	22	+4	−2	+18,1	206	−17	91
γ Lep	42,4	−22 28	3,60	F6 V	119	−287	−371	−10	227	−24	92
δ Dor	44,7	−65 45	4,34	A6 IV	19	−30	+4	−3	275	−31	
ζ Lep	44,7	−14 50	3,55	A3n V	42	−16	+4	+20*v*	219	−21	
ϰ Ori	45,4	−09 41	2,05*v*?	B0,5 Ia	9	+4	−2	+20,6*v*	215	−18	
τ Aur	45,7	+39 10	4,50	G8 III	4	−22	−25	−20	172	+6	
β Pic	46,1	−51 05	3,84	A3 V	55	+2	+83	+28	258	−31	
ν Aur	48,0	+39 08	3,97	K0 III	17	0	+8	+9,7	172	+6	93
γ Pic	48,9	−56 11	4,50	K1 III	11	+74	−67	+15,7	264	−31	
δ Lep	49,2	−20 53	3,85	G8 III	22	+231	−645	+99,3	226	−22	
β Col	49,2	−35 47	3,12	K2 III	23	+47	+399	+89,4	241	−27	
χ¹ Ori	51,4	+20 16	4,41	G0 V	101	−184	−87	−13,5	188	−3	
α Ori	52,5	+07 24	0,42*v*	M2 Iab	5	+27	+7	+21*v*	200	−9	94
η Lep	54,1	−14 11	3,72	F0 V	61	−41	+138	−1,6	220	−18	
δ Aur	55,4	+54 17	3,72	K0 III	20	+85	−128	+8,2	159	+15	
γ Col	55,8	−35 17	4,36	B3 IV	5	− 6	+5	+24,2	241	−26	
β Aur	55,9	+44 57	1,90*v*	A2 V	37	−51	−4	−18,2	167°	+10°	95
π Aur	56,2	+45 56	4,25*v*?	M3,5 II	3	+3	−9	+1	167	+11	
θ Aur	56,3	+37 13	2,65*v*?	B9,5p V	18	+51	−83	+29,3	174	+7	96

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
2113 Ori	$5^h57^m,5$	−02 05	4,52*v*?	K2 III	24	+9	−70	+25,9	210	−13	
η Col	57,6	−42 49	3,96	K0 III	14	+11	−22	+17	249	−27	
μ Ori	59,6	+09 39	4,13*v*?	A2m	29	+16	−29	+45*v*	199	−6	97
1 Gem	6 01,1	+23 16	4,15	G5 II	26	−7	−105	+20*v*	187	+1	98
ν Ori	04,7	+14 47	4,42	B3 V	7	+9	−27	+20*v*	195	−3	
ξ Ori	09,1	+14 13	4,48	B3 V	7	+6	−23	+24*v*	196	−2	
κ Aur	12,2	+29 31	3,28	G8 III	16	−67	−264	+20,3	183	+6	
η Gem	11,9	+22 32	4,35*v*?	M3 III	13	−64	−15	+19	189	+2	99
γ Mon	12,4	−06 15	3,96	K3 III	10	−4	−18	−4,8	214	−11	100
κ Col	14,8	−35 07	4,37*v*?	G8 III	19	−11	+80	+24,2	242	−22	
2 Lyn	15,2	+52 02	4,48*v*?	A2s V	35	−5	+22	−3,6	156	+19	
ζ CMa	18,4	−30 02	3,02	B2,5 V	13	+3	+2	+32*v*	238	−19	
μ Gem	19,9	+22 32	2,87	M3 III	21	+60	−114	+54,8	190	+4	101
δ Col	20,3	−33 25	3,85	G4 III	13	−30	−56	−2,6	241	−20	
β CMa	20,5	−17 56	1,97*v*	B1 II-III	14	−4	−1	+34*v*	226	−14	102
ε Mon	21,1	+04 37	4,31	A5 IV	24	−18	+8	+16,3	206	−4	103
α Car	22,8	−52 40	−0,73	F0 Ib-II	18	+18	+17	+20,5	261	−25	
ν Gem	26,0	+20 15	4,14	B7 IV	13	−3	−18	+39	192	+4	104
λ CMa	26,3	−32 33	4,48	B4 V	7	−24	+23	+41	241	−19	
β Mon	26,4	−07 00	3,76	B3pe V	22	−18	+5	+21	217	−8	105
ξ^1 CMa	29,8	−23 23	4,33*v*	B0,5 IV	2	−4	+10	+27*v*	232	−15	106
13 Mon	30,2	+07 22	4,50	A0 Ib	3±4	+1	−8	+12,3	204	+1	
N Car	33,9	−52 56	4,38	B9 III	8	−18	+6	+23,1	262	−24	
ν^2 CMa	34,5	−19 13	3,92*v*?	K1 IV	52	+64	−76	+3	229	−12	
γ Gem	34,8	+16 27	1,92	A1 IV	31	+47	−46	−13	197	+4	
ν^3 CMa	35,7	−18 12	4,42	K1 IV	7±10	−9	−7	−1,5	228	−11	
ν Pup	36,2	−43 09	3,17	B8 III	23	−4	−9	+28,2*v*	252	−21	
ε Gem	40,9	+25 11	2,98	G8 Ib	9	0	−16	+99	190	+10	107
30 Gem	41,2	+13 17	4,49	K1 III	4±5	−1	−62	+136	200	+4	108
ξ Gem	42,5	+12 57	3,36*v*?	F5 IV	51	−111	−195	+25	201	+4	
α CMa	42,9	−16 39	−1,46	A1 V	375	−537	−1210	−8*v*	227	−9	109
18 Mon	45,3	+02 28	4,46	K0 III	15	−16	−13	+11,3	210	+0	
α Pic	47,7	−61 53	3,26	A5 V	46	−74	+262	+20,6	272	−24	
κ CMa	48,0	−32 27	3,95*v*?	B2e V	6	−9	+4	+14	242	−14	110
τ Pup	48,7	−50 33	2,92	K0 III	25	+25	−75	+36,4*v*	260	−21	
A Car	48,8	−53 34	4,40	gG3	17	−8	+25	+26*v*	263	−22	
θ Gem	49,5	+34 01	3,60	A3 III	21	+5	−53	+20*v*	182	+15	111
θ CMa	51,9	−11 58	4,08	K4 III	21	−139	−18	+97,3	224	−5	
o^1 CMa	52,1	−24 07	3,92*v*?	K3 Iab	2	−8	+10	+36,3	235	−10	
15 Lyn	53,0	+58 29	4,35	G5 III-IV	12	+1	−134	+8,9	158	+24	112
ι CMa	53,9	−16 59	4,37*v*?	B3 II	2	−3	+10	+41	229	−7	
ε CMa	56,7	−28 54	1,50	B2 II	1 dyn	+3	−3	+27	240	−11	113
σ CMa	59,7	−27 52	3,43*v*?	M0 Iab	17	−3	0	+21,5	239	−10	
ζ Gem	7 01,1	+20 39	3,7*v*	F7 Ib	4	−4	−3	+7*v*	196	+12	114
o^2 CMa	01,1	−23 46	3,01	B3 Ia	7	0	0	+48	236	−8	
γ CMa	01,5	−15 33	4,12	B8 II	10	+3	−8	+30*v*	228	−4	
δ CMa	06,4	−26 19	1,84*v*?	F8 Ia	3	−4	+3	+34*v*	238	−8	
τ Gem	08,0	+30 20	4,40*v*?	K2 III	5±6	−26	−48	+22	187	+17	115

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
γ^2 Vol	7^h09^m,2	−70° 25′	3^m,61v?	G8 III	9±8	+21	+103	+3	282°	−24°	116
δ Mon	09,3	−00 24	4,15	A2 V	15±4	−1	+6	+15	216	+4	117
J Pup	11,1	−46 40	4,49	B1 Ib	40±9	−139	+102	−1	258	−16	
L^2 Pup	12,0	−44 33	3,1v	M5e III	16±8	+104	+326	+53	256	−15	118
EW CMa	12,2	−26 16	4,3v	B4pe V+B8	5	−11	+4	+0v	239	−7	119
ω CMa	12,8	−26 41	3,82v	B3e V	8	−9	+3	+26	239	−7	120
λ Gem	15,2	+16 38	3,58v?	A3 V	41±5	−43	−43	−9	221	+13	121
π Pup	15,4	−37 00	2,70v?	K4 III	23±11	−6	+5	+16	249	−11	
UW CMa	16,6	−24 28	4,5v?	O7 f	1	−7	−3	−11v	238	−5	122
τ CMa	16,6	−24 52	4,40v?	O9 III	1	−10	+7	+40	238	−6	123
δ Vol	16,9	−67 52	3,97	F8 II	5±5	−3	−26	+23	279	−23	
δ Gem	17,1	+22 05	3,53	F0 IV	59±5	−19	−15	+3	196	+16	124
η CMa	22,1	−29 12	2,44	B5 Ia	12	−7	+4	+41	243	−6	
ι Gem	22,6	+27 54	3,79	K0 III	31±6	−117	−89	+8	191	+19	
β CMi	24,4	+08 24	2,89v?	B8e V	18±6	−50	−42	+22v	210	+12	
γ CMi	25,4	+09 14	4,30	K3 III	16	−62	+14	+47v	209	+12	125
ρ Gem	25,9	+31 53	4,18	F0 V	59±6	+154	+154	−6	187	+21	126
σ Pup	27,6	−43 12	3,25	K5 III	13±8	−66	+183	+88v	256	−12	127
$\alpha^{1,2}$ Gem	31,4	+32 00	1,58	A1 V+A1m	72+4	−165	−110	+6	187	+22	128
2906 Pup	31,9	−22 11	4,45	F5 V	47±10	−43	+41	+61	238	−1	
υ Gem	32,8	+27 01	4,06	K5 III	12±6	−33	−109	−21	193	+21	
α CMi	36,7	+05 21	0,37v?	F5 IV-V	288±4	−706	−1032	−3v	214	+13	129
$\varkappa^{1,2}$ Pup	36,8	−26 41	3,80	B6 V/B7 V	10 dyn	−25	+20	+24	242	−2	130
α Mon	38,9	−09 26	3,93	K0 III	19	−75	−22	+11	227	+7	
σ Gem	40,2	+29 00	4,29v?	K1 III	17±6	+70	−235	+46v	191	+23	
ϰ Gem	41,4	+24 31	3,57v?	G8 III	25±6	−27	−54	+22	196	+22	131
3 Pup	41,8	−28 50	3,95	A3ep II	19±11	−9	−5	+20v	244	−3	
β Gem	42,3	+28 09	1,14v?	K0 III	93+5	−623	−052	+3,6	192	+23	132
ζ Vol	42,4	−72 29	3,94	K0 III	11±12	+26	+12	+48	285	−22	
c Pup	43,5	−37 51	3,61	K5 I	1	−15	−1	+17	251	−7	133
o Pup	46,0	−25 49	4,52	B1nne IV	3	−11	+2	+11v	242	−0	
ξ Pup	47,2	−24 44	3,35	G3 Ib	3	−5	−2	+3v	241	+0	134
p Pup	47,7	−46 15	4,11	B0,5 III	2	−10	+1	+24	260	−10	135
α Pup	50,5	−40 27	3,73	G5 III	23	−16	+3	+24v	255	−7	136
b Pup	50,9	−38 44	4,49	B3 V	6±11	−11	−8	−21v	254	−6	
J Pup	51,8	−47 58	4,24	B1 Ib	1	−5	−3	+41	262	−10	
e Pup	54,7	−22 45	4,20	F8 II	15±8	−28	+5	+14	241	+3	
χ Car	55,5	−52 51	3,46	B2 IV	12	−34	+20	+19	267	−12	
G CMi	8 00,0	+02 28	4,38v?	K2 III	18	−31	+102	+70,1	219	+17	
ζ Pup	01,8	−39 52	2,25	O5f	4	−31	+12	−24	256	−5	
ρ Pup	05,4	−24 10	2,81v?	F6p II	31±7	−86	+47	+46,6v	243	+4	
ζ Mon	06,1	−02 50	4,32	G2 Ib	2	−19	−6	+30	225	+16	137
16 Pup	06,8	−19 06	4,40	B5 V	8	−16	−9	+19v	239	+7	138
ε Vol	07,8	−68 28	4,34	B6 IV	5	−27	+21	+10v	282	−19	
γ^1 Vel	08,0	−47 12	4,27	B3n	5	−13	−9	+20v	263	−8	139
γ^2 Vel	08,0	−47 12	1,83v?	WC7+ +B1 IV	6	−10	+4	+35	263	−8	140
h^1 Pup	09,6	−39 28	4,45v?	cK	−11±9	−8	−6	+16v	256	−3	
h^2 Pup	12,3	−40 12	4,44	K0 I	4	+39	−70	+14v	257	−3	
β Cnc	13,8	+09 20	3,53v?	K4 III	14±5	−46	−51	+21	214	+23	141

Продолжение табл. 28б

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
q Pup	$8^h16^m,7$	−36° 30′	$4^m,45$	A7 III	36±9	−110	+93	+5	255°	−0°	
31 Lyn	19,4	+43 21	4,25v?	K5 III	20±6	−14	−103	+24	177	+34	
α Cha	19,8	−76 46	4,06	F6 IV	46±11	+106	+106	−13,6	290	−22	
ε Car	21,5	−59 21	1,85v?	K0 II+B	10	−28	+12	+12	274	−13	
θ Cha	22,2	−77 19	4,34	K0 III-IV	27±10	−134	+34	+22	290	−22	142
30 Mon	23,2	−03 45	3,90	A0 V	19	−66	−26	+10	228	+19	
β Vol	25,2	−65 58	3,76v?	K2 III	33±9	−27	−159	+27	280	−16	
o UMa	26,1	+60 53	3,36v?	G5 II-III	4±6	−129	−113	+20v	156	+35	
δ Hya	35,0	+05 53	4,14	A1n V	27±5	−69	−13	+11v	220	+26	
e Vel	35,9	−42 49	4,14	A9II	12±10	−13	0	+19	262	−1	
σ Hya	36,1	+03 31	4,43	K2 III	25±6	−21	−20	+25	223	+25	
β Pyx	38,1	−35 08	3,98	G5 III	11±10	+13	−18	−15	256	+4	143
o Vel	38,9	−52 45	3,60v?	B3 III	7	−26	+14	+17v	270	−7	
b Vel	39,0	−46 28	3,83v?	F2 Ia	23±10	−12	−3	+25v	265	−3	144
d Car	39,5	−59 35	4,32v?	B1 III	2	−5	−7	+13v	276	−11	145
η Hya	40,6	+03 35	4,30v?	B3 V	8	−18	−5	+21v	223	+26	
α Pyx	41,6	−33 00	3,69v?	B1,5 III	7	−15	+11	+15	255	+6	
δ Cnc	41,8	+18 20	3,94	K0 III	1±6	−14	−236	+17	208	+33	146
d Vel	42,6	−42 28	4,07	sgG5	43±11	−19	+16	−2	262	+0	147
δ Vel	43,3	−54 31	1,96	A0 V	43±7	+17	−84	+2	272	−7	148
ι^1 Cnc	43,7	+28 57	4,02v?	G8 II/A3 V	21±5	−20	−47	+16	196	+37	149
D Hya	44,0	−13 22	4,32	G8 III	8±6	+15	−15	−8v	239	+18	
ε Hya	44,1	−06 36	3,38	G0 III+ +dF 7	10±5	−191	−54	+36v	221	+29	150
α Vel	44,3	−45 51	3,91	A0 III	−4±10	−10	−5	+24	265	−2	
ρ Hya	45,8	+06 01	4,37	A0n V	9±5	−19	−37	+33v	222	+29	151
γ Pyx	48,4	−27 31	4,01	K3 III	25±10	−129	+83	+25	252	+10	
ζ Hya	52,8	+06 08	3,10	K0 II-III	29±6	−100	+11	+23	222	+30	
c Car	53,9	−60 27	3,84	B8 II	15	−17	+42	+25	278	−10	152
α Cnc	55,8	+12 03	4,26v?	A5m III	18±6	−35	−37	−14	216	+34	153
ι UMa	55,8	+48 14	3,14v?	A7 V	66±6	−442	−243	+12v	171	+41	154
10 UMa	57,4	+41 59	3,97	F5 V	70±5	−436	−255	+26,4	180	+41	155
w Vel	58,2	−51 04	4,45	F8 III	23±10	−44	+41	−7v	263	+3	
ϰ UMa	9 00,2	+47 21	3,60	A1n V	10±6	−31	−62	+4	173	+42	156
α Vol	01,7	−66 12	4,00	A5 V	44±11	−2	−104	+5v	283	−13	
c Vel	02,4	−46 54	3,75	K2 III	14±10	−56	−16	+24	268	−0	
G Car	05,0	−72 24	4,47	F6 II-III	16±10	+9	−11	+22	288	−17	
f UMa	05,4	+51 48	4,48	A1m	33	−134	−42	−0	167	+42	
λ Vel	06,2	−43 14	2,21v?	K4 Ib-IIa	15±8	−25	+7	+18	266	+3	
a Car	09,6	−58 46	3,43v?	B2 IV	13	−28	+2	+23,3v	278	−7	
l Car	10,1	−62 07	3,96	B3 IV	13	−43	+3	+18	280	−10	
θ Hya	11,8	+02 32	3,88v?	B9,5p V	19±6	+130	−315	−8v	229	+33	157
β Car	12,7	−69 31	1,68	A1 V	38±10	−154	+98	−5	286	−14	
g Car	14,8	−57 20	4,34v?	gK5	18±11	−16	−13	−5	277	−6	
38 Lyn	15,7	+37 01	3,82	A3 V	33±7	−30	−129	+2v	187	+44	158
i Car	15,8	−59 04	2,24v?	F0 Ib	11±10	−19	−1	+13	278	−7	
α Lyn	18,0	+34 36	3,13v?	M0 III	21±6	−217	+13	+38	190	+45	
ϰ Vel	20,6	−54 48	2,50	B2 IV	7±11	−12	+1	+22v	276	−4	
ϰ Leo	21,7	+26 24	4,46v?	K2 III	10	−28	−50	+28	202	+44	159
α Hya	25,1	−08 26	1,97v?	K3 III	17±4	−15	+30	−4,61	241	+29	

Название звезды		α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
ε	Ant	$9^h27^m,2$	−35° 44′	$4^m,51$	M0 III	8	−27	−9	+22	263°	+11°	
h	UMa	27,6	+63 17	3,67*v*?	F0 IV	34±6	+110	+24	−10	151	+42	160
ψ	Vel	28,7	−40 15	3,60*v*?	F2 IV	59±6	−192	+68	+5	267	+8	161
λ	Leo	28,9	+23 11	4,31*v*?	K5 III	20±5	−23	−44	+26*v* ?	207	+45	
θ	UMa	29,5	+51 54	3,18	F6 IV	52+6	−950	−542	+15	165	+46	
N	Vel	29,7	−56 49	3,12	K3 III	15	−36	−1	−14	278	−4	
3751	Cam	30,1	+81 33	4,30	K3 III	14	−15	−22	−5	131	+33	
26	UMa	31,6	+52 16	4,51	A2 V	21±7	−64	−42	+23	165	+46	
h	Car	33,0	−59 00	4,08	B5 II	5	−12	+7	+22	280	−5	
M	Vel	35,0	−49 08	4,35	dA5	19±9	−112	+22	+21	274	+2	162
ι	Hya	37,3	−00 55	3,91*v*?	K3 III	20±7	+47	−69	+23*v* ?	236	+36	
o	Leo	38,5	+10 07	3,52	A5 V+ +F8 III	28±7	−142	−41	+27*v*	225	+42	
ε	Leo	43,0	+24 00	2,98	G0 II	2+7	−44	−18	+4,7	207	+48	
l	Car	43,9	−62 17	3,40*v*	cG2	19±10	−15	+7	+4*v*	283	−7	164
υ	Car	45,9	−64 50	2,96	A9 II	20±12	−11	+4	+14	285	−9	165
υ	UMa	47,5	+59 16	3,81	F2 IV	36±5	−292	−158	+31	154	+46	166
υ^1	Hya	49,1	−14 37	4,11	G2 III	16±7	+19	−29	−15	251	+29	
μ	Leo	49,9	+26 15	3,88	K2 III	22±6	−218	−59	+14	204	+50	
φ	Vel	55,1	−54 20	3,53	B5 II	9	−14	+2	+14	279	+0	167
21	LMi	10 04,5	+35 29	4,49*v*?	A7 V	27	+52	−2	−18*v* ?	189	+54	
η	Leo	04,6	+17 00	3,53*v*	A0 Ib	2	−1	−8	+3	220	+51	
A	Leo	05,3	+10 15	4,37	K4 III	13	−81	−66	+41	229	+48	
α	Sex	05,4	−00 08	4,50	A0 III	8±11	−16	−13	+7	241	+42	
α	Leo	05,7	+12 13	1,35*v*?	B7 V	39±7	−248	+1	+4	226	+49	168
λ	Hya	08,2	−12 06	3,61	K0 III	14±10	−204	−93	+19*v*	253	+34	169
ω	Car	12,6	−69 47	3,31	B7 IV	18	−28	+0	+4*v*	290	−11	
q	Vel	12,6	−41 52	3,85	A2 V	28±9	−152	+31	+8*v*	274	+12	
ζ	Leo	13,9	+23 40	3,44	F0 III	9±6	+19	−13	−15*v*	210	+55	
λ	UMa	14,1	+43 10	3,45	A2 IV	31	−164	−45	+18	176	+55	
q	Car	15,4	−61 05	3,42*v*?	K5 Ib	18	−23	−1	+9	286	−4	
$\gamma^{1,2}$	Leo	17,2	+20 06	1,98*v*	K0 III/G7 III	19±6	+307	−152	−37	217	+55	170
I	Vel	19,0	−55 47	4,50	B3 III	8	−16	−4	+10	283	+1	171
μ	UMa	19,4	+41 45	3,05*v*?	M0 III	31±6	−82	+25	−20	178	+56	
I	Car	23,4	−73 47	3,98*v*?	F3 IV-V	79±11	−16	−32	−4	293	−14	
μ	Hya	23,7	−16 35	3,79	K5 III	13±7	−128	−81	+40	260	+34	
α	Ant	24,9	−30 49	4,25*v*?	K4,5 III	17±10	−77	+8	+13*v*	270	+22	
β	LMi	25,0	+36 58	4,21	G8 III-IV	21±5	−120	−110	+6	186	+58	172
s	Car	26,0	−58 29	3,82*v*?	F0 II	5±10	−15	−11	+9	285	+1	
ρ	Leo	30,2	+09 34	3,85*v*?	B1 Ib	5±6	−7	−6	+42	235	+53	
p	Car	30,2	−61 26	3,28*v*	B5ne V	12	−21	+0	+26	287	−3	172′
r	Car	33,7	−57 17	4,45	gK3	19	−19	−10	+10*v* ?	285	+1	
γ	Cha	34,9	−78 21	4,10*v*?	M0 III	3±11	−39	+11	−22	296	−18	
p	Vel	35,2	−47 58	3,84	F4 IV+ +A1 V	33±7	−152	−26	+19,2*v*	281	+9	173
x	Vel	37,3	−55 21	4,27	G2 II	15±11	−17	−10	+20	285	+3	174
θ	Car	41,2	−64 08	2,76	O9,5 V	7	−17	+7	+24*v*	290	−5	
η	Car	43,1	−59 25	0,8*v*	pec.	1	−1	−1	−25	288	−1	
μ	Vel	44,6	−49 09	2,69	G5 III	22 dyn	+64	−56	+5	283	+9	175
δ^2	Cha	45,3	−80 17	4.45	B2,5 IV	8	−33	0	+22	298	−19	

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
ν Hya	$10^h47^m,2$	−15° 56′	$3^m,11$	K2 III	22±9	+95	+199	−1	265°	+38°	
46 LMi	50,5	+34 29	3,80	K1 III-IV	17±6	+90	−286	+16	190	+64	
u Car	51,5	−58 35	3,78*v*?	K0 III-IV	50±11	+70	+20	+9	288	+1	
54 Leo	52,9	+25 01	4,32	A1 V	15 dyn	−72	−18	+4	212	+64	176
α Crt	57,3	−18 02	4,07	K0 III	24±8	−461	+123	+47	269	+37	
i Vel	57,9	−41 57	4,39	A2 IV	−3±10	+18	0	−5	282	+16	
β UMa	58,8	+56 39	2,37*v*?	A1 V	42±6	+83	+29	−12*v*	149	+55	
b Leo	59,7	+20 27	4,42	A1 V	11±8	−10	+30	−10	223	+64	
α UMa	11 00,7	+62 01	1,79*v*?	K0 III	31±5	−119	−70	−9*v*	143	+51	177
x Car	06,4	−58 42	3,9*v*?	G0 Ia	−9±10	−7	−11	+7*v*	290	+1	
ψ UMa	06,9	+44 46	3,01	K1 III	35	−63	−35	−4	166	+63	
β Crt	09,2	−22 33	4,48	A2 III-IV	45±10	+0	−104	+6*v*	275	+35	
δ Leo	11,5	+20 48	2,56*v*?	A4 V	40±5	+146	−138	−21*v*?	224	+67	
θ Leo	11,6	+15 42	3,35	A2 V	19±6	−59	−85	+8	235	+65	
φ Leo	14,1	−03 23	4,47	A7n IV	14±10	−112	−41	−3	263	+52	
ξ UMa	15,5	+31 49	3,79	G0 V	127±6	−431	−593	−16*v*	195	+69	178
ν UMa	15,8	+33 22	3,48	K3 III	13±7	−25	+21	−9	191	+69	179
δ Crt	16,8	−14 30	3,56	G8 III-IV	19±6	−125	+199	−5	272	+42	
σ Leo	18,6	+06 18	4,05	B9,5s V	16	−94	−17	−5*v*	253	+60	
π Cen	18,7	−54 13	3,88	B5n V	11 dyn	−33	−13	+16*v*	290	+6	180
ι Leo	21,3	+10 48	3,94*v*?	F2 IV	47±7	+169	−81	−10*v*	248	+64	181
γ Crt	22,4	−17 25	4,08	A7 IV-V	22±6	−106	−1	+1	275	+41	182
λ Dra	28,5	+69 36	3,85*v*?	M0 III	24±6	−40	−22	+6	133	+46	
ξ Hya	30,5	−31 35	3,54	G7 III	19±10	−210	−47	−5	284	+28	
λ Cen	33,5	−62 45	3,13	B9 II	31	−34	−19	+9	294	−1	183
υ Leo	34,4	−00 33	4,30	G9 III	15±8	+3	+38	−1,5	267	+57	
λ Mus	43,2	−66 27	3,64*v*?	A7 II-III	—	−92	+27	+16	297	−5	184
ν Vir	43,3	+06 49	4,04*v*?	M1 III	13±7	−18	−188	+51	263	+64	
χ UMa	43,4	+48 03	3,72*v*?	K0 III	14+6	−138	+19	−8	150	+66	
4522 Cen	44,1	−60 54	4,10	G3 III	6	−26	−27	−4	295	+1	
β Leo	46,5	+14 51	2,14*v*?	A3 V	76±5	−496	−122	−0	251	+71	
j Cen	47,2	−63 31	4,31	B3ne V	7	−21	−9	+37*v*	296	−2	
β Vir	48,1	+02 03	3,60	F8 V	98	−742	−277	+4,6	270	+61	
B Cen	48,6	−44 54	4,46	K4 III	16±10	−88	−15	−2	292	+16	
β Hya	50,4	−33 38	4,28	B9 IV	10 dyn	−55	−2	−1	289	+27	
γ UMa	51,2	+53 58	2,44*v*?	A0 V	20±6	+93	+4	−13	141	+61	185
θ¹ Cru	12 00,5	−63 02	4,32	Am	14±10	−146	−5	−2*v*?	298	+1	
ο Vir	02,7	+09 01	4,12	G8 III	37±5	−221	+42	−30	270	+69	
η Cru	04,3	−64 20	4,14	F0 III	46±9	+34	−46	+9*v*?	298	−2	
4618 Cen	05,5	−50 23	4,47	B6 III	8	−41	−19	+17	296	+12	186
δ Cen	05,8	−50 27	2,65*v*?	B2e V	20±11	−37	−20	+9*v*	296	+12	
α Crv	05,8	−24 27	4,02	F2 V	53±10	+83	−48	+4	291	+37	187
ε Crv	07,5	−22 20	2,98*v*?	K2 III	20±7	−69	+7	+5	291	+39	
ρ Cen	09,0	−52 05	3,96	B4 V	26±12	−41	−26	+21*v*	297	+10	
δ Cru	12,5	−58 28	2,82*v*?	B2 IV	6	−37	−17	+26	298	+4	
δ UMa	13,0	+57 19	3,31*v*?	A3 V	52±5	+106	+3	−13	133	+59	
γ Crv	13,2	−17 16	2,58*v*?	B8 III	24	−162	+15	−4*v*	291	+45	
ε Mus	14,8	−67 41	4,16*v*?	M5 III	38±10	−234	−36	+7*v*	300	−5	
β Cha	15,4	−79 02	4,25*v*?	A2 III-IV	13	−34	+8	+23	301	−17	
ζ Cru	15,7	−63 44	4,04	B3 IV-V	5	−44	−23	+19	299	−1	

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0",001	μ_α 0",001	μ_δ 0",001	V_r	l	b	Примечание
η Vir	$12^h 17^m,3$	−00° 23′	$3^m,90v$?	A2 V	10±10	−63	−25	+2v	286°	+61°	
ε Cru	18,6	−60 08	3,58v?	K3 II	17±9	−176	+74	−5	299	+2	
$\alpha^{1,2}$ Cru	23,8	−62 49	0,79	B1 IV+ +B1 V	8 dyn	−32	−27	−11v	300	0	188
γ Com	24,4	+28 33	4,37	K1 III-IV	2±7	−84	−88	+4	200	+84	
σ Cen	25,3	−49 57	3,91	B2 V	—	−26	−26	+12v	299	+12	
δ Crv	27,3	−16 14	2,94v?	B9n V	18±5	−210	−145	+9	295	+46	189
γ Cru	28,4	−56 50	1,62v?	M3 II	15	+25	−273	+ 21,3	300	+6	190
γ Mus	29,5	−71 51	3,86	B5 V	12	−44	−12	+14v?	301	−9	
η Crv	29,5	−15 55	4,32v?	F0 IV	44±7	−428	−67	−4v	296	+46	
ϰ Dra	31,4	+70 04	3,89v?	B5e III	10±8	−58	+7	−11,4v	125	+47	
β CVn	31,4	+41 38	4,27v?	G0 V	108	−705	+284	+7	136	+75	
β Crv	31,8	−23 07	2,64v?	G5 III	27±7	+4	−59	−7,0	298	+39	
α Mus	34,2	−68 52	2,71v?	B3 IV	15	−32	−18	+18v	302	−6	191
τ Cen	35,0	−48 16	3,86	A2 V	18±10	−190	−15	+5	301	+14	
γ Cen	38,7	−48 41	2,17	A0 III	6±9	−196	−15	−8v	301	+14	192
γ^1 Vir	39,1	−01 11	2,74v?	F0 V+F0 V	101	−567	+5	−20	298	+61	193
β Mus	43,2	−67 50	3,04	B2,5 V	15 dyn	−28	−30	+42v	302	−5	194
β Cru	44,8	−59 25	1,23v	B0,5 IV	7	−41	−26	+20v	302	+3	195
e Cen	50,3	−48 40	4,33	K2 II	13	−89	−29	−2v?	303	−14	
n Cen	50,7	−39 54	4,27	A7 III	47±12	+68	−32	−3	303	+23	
μ^1 Cru	51,6	−56 54	4,03	B3e IV	5	−30	−18	+16	303	+6	196
ε UMa	51,8	+56 14	1,77v	A0p V	8±10	+113	−11	−9v	122	+61	197
δ Vir	53,1	+03 40	3,38v?	M3 III	17±5	−469	−60	−18	306	+66	
α^2 CVn	53,7	+38 35	2,84v	B9,5pv I+ +F0 V	23±6	−236	+55	−3v	118	+79	198
δ Mus	58,8	−71 17	3,61	K2 III	23±9	+273	−38	+37v	304	−9	
ε Vir	59,7	+11 44	2,84v?	G9 II-III	36±7	−274	+16	−14	312	+74	
ξ^2 Cen	13 04,0	−49 38	4,27	B2 V	3	−30	−18	+14,3v	305	+13	199
θ Vir	07,4	−05 16	4,38	A1 V	22±5	−36	−39	−3v	311	+57	200
β Com	09,5	+28 08	4,26	G0 V	120	−799	+876	+6	43	+85	
γ Hya	16,2	−22 54	3,00v?	G8 III	21±7	+69	−52	−5	311	+39	
ι Cen	17,8	−36 27	2,73	A2 V	46±9	−339	−92	+0	309	+26	
m Cen	20,6	−64 17	4,52	G5 III-IV	−4	+35	−39	+12	306	−2	
ζ^A UMa	21,9	+55 11	2,06v?	A2 V+ +A2 V	37±6	+124	−28	−90	113	+62	201
ζ^B UMa	21,9	+55 11	3,95v?	A1m	37±7	+119	−24	−9v	113	+62	
α Vir	22,6	−10 54	0,97v	B1 V+ +B3 V	21±8	−41	−35	+1,0v	316	+51	
g UMa	23,2	+55 15	4,02v?	A5 V	37±7	+119	−24	−8v	113	+61	202
R Hya	27,0	−23 01	3,5v	M7ve IV	—	−57	+8	−10	314	+39	203
d Cen	28,1	−39 09	3,88v?	G8 III	7±10	−16	−22	−2	311	+23	
ζ Vir	32,1	−00 20	3,38	A3 V	35±5	−285	+34	−13	325	+60	
ε Cen	36,7	−53 13	2,30	B1 V	12	−23	−23	+6	310	+9	
l Cen	42,8	−32 48	4,23	F2 III	45±8	−460	−151	−22v	316	+28	
τ Boo	44,9	+17 42	4,50v?	F7 V	56±6	−483	+29	−16	359	+74	204
η UMa	45,6	+49 34	1,86v?	B3 V	4±12	−122	−18	−10,8	101	+65	
ν Cen	46,5	−41 26	3,41v?	B2 IV	7	−26	−26	+9v	314	+20	
g Cen	46,5	−34° 12′	4,19v?	M4 IIIab	49±12	−47	−64	+41	316°	+ 27°	

Название звезды		α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0",001	μ_α 0",001	μ_δ 0",001	V_r	l	b	Примечание
μ	Cen	$13^h 46^m,6$	−42 14	$2^m,94v$	B2pne V:	9	−21	−24	+13v	314	+19	205
υ	Boo	47,1	+16 03	4,07v?	K5 III	10±6	−95	+34	−6	356	+72	
k	Cen	48,9	−32 45	4,32	B5p III/B9 V	17 dyn	−38	−45	+14	317	+28	206
η	Boo	52,3	+18 39	2,68	G0 IV	102	−63	−365	−0,1v	5	+73	
ζ	Cen	54,4	−47 03	2,55	B2 IV	13	−59	−48	+7v	314	+14	
φ	Cen	55,2	−41 51	3,83v?	B2 IV	5	−28	−26	+7v	316	+19	
$υ^1$	Cen	55,6	−44 34	3,87	B2 V	5	−30	−28	+7v	315	+16	
$υ^2$	Cen	58,6	−45 22	4,34	F7 I-II	8±9	−1	−28	−1v	316	+16	
τ	Vir	59,1	+01 47	4,26	A3 V	15±5	+15	−26	−2v?	339	+59	207
β	Cen	14 00,3	−60 08	0,59v?	B1 II	16±11	−21	−28	−12v	312	+1	208
χ	Cen	03,0	−40 56	4,36	B2 V	4	−22	−25	+12	318	+20	
α	Dra	03,0	+64 37	3,65v?	A0 III	11±5	−53	+14	−16v	111	+51	
π	Hya	03,5	−26 27	3,28	K2 III	39±12	+43	−150	+27,2	323	+33	
θ	Cen	03,7	−36 08	2,06	K0 III-IV	59±8	−522	−522	+1,3	319	+24	
ϰ	Vir	10,2	−10 03	4,21	K3 III	17±7	+4	+134	−4	333	+48	
α	Boo	13,4	+19 27	−0,05v?	K2p III	90	−1098	−2003	−5,3	15	+69	
ι	Vir	13,4	−06 46	4,09v?	F7 III-IV	39±8	−10	−429	+11,5	338	+51	
λ	Boo	14,5	+46 19	4,18v?	A0p	43±7	−184	+154	−8,1	87	+65	
ι	Lup	16,2	−45 50	3,55v?	B3 IV	7	−16	−6	+22	318	+14	
λ	Vir	16,4	−13 09	4,52v?	A2m	10	−19	+24	−11v	333	+44	
ν	Cen	16,8	−56 09	4,32	B5 II	3	−8	−18	+5v?	315	+4	
ψ	Cen	17,5	−37 39	4,05	A0 IV	−3±10	−68	−14	−4v	322	+22	
δ	Oct	18,7	−83 26	4,31	K1 V	16	−92	−14	+4,6	306	−21	209
a	Cen	19,9	39 17	4,42	B7p III	6	−31	−37	+8	321	+20	
$τ^2$	Lup	23,0	−45 09	4,35	dF7	−3±9	+13	−16	−1,2v	320	+14	
θ	Boo	23,5	+52 05	4,06v?	F7 V	67±6	−238	−404	−10,9	94	+60	210
5	UMi	27,6	+75 55	4,25	K4 III	17±5	+8	+18	+10,1	115	+40	211
σ	Lup	29,2	−50 14	4,41	B2 III	4	−44	−17	−2v?	319	+9	212
ρ	Boo	29,7	+30 35	3,59v?	K3 III	25±6	−101	+115	−13,7v	47	+68	
γ	Boo	30,1	+38 32	3,02v	A7 III	16±5	−115	+146	−36	67	+66	213
η	Cen	32,3	−41 56	2,31v?	B1,5ne V:	12	−37	−32	−0,2v	323	+17	214
σ	Boo	32,5	+29 58	4,47v?	F7 V	63	+187	+124	+0,2	46	+67	215
ρ	Lup	34,5	−49 13	4,05v?	B5 V	14	−34	−25	+14,3	320	+10	
α	Cen	36,2	−60 38	0,06	G2 V+K5 V	751±11	−3606	+705	−25v	316	+1	
α	Cir	38,4	−64 46	3,19	F0p V	49±8	−187	−244	+7	314	−5	216
α	Lup	38,6	−47 10	2,30v	B1 III	9	−21	−26	+7,3v	322	+11	217
ζ	Boo	38,8	+13 56	3,78v?	A2 III	7±13	+52	−26	−4,6	11	+61	218
b	Cen	38,8	−37 55	4,00	B3 V	7	−25	−38	+8v	326	+20	219
μ	Vir	40,4	−05 27	3,88	F3 IV	39±4	+106	−322	+5,4	347	+48	
c^1	Cen	40,6	−34 58	4,05	K5 III	8±11	−70	−190	−38,5	327	+22	
α	Aps	41,6	−78 50	3,82	K5 III	20±10	−2	−25	−0,1	308	−17	
ε	Boo	42,8	+27 17	2,37	K0 II-III+ +A2 V	13±7	−49	+14	−16,5	39	+65	220
109	Vir	43,7	+02 06	3,73v?	A0 V	30±5	−114	−36	−6,1	355	+53	
E	Hya	47,3	−27 45	4,41	K4 II	5±10	−242	−67	−9,9	333	+28	
$α^2$	Lib	48,1	−15 50	2,75v?	A3 IV	49±7	−107	−74	−10v	340	+38	
o	Lup	48,4	−43 22	4,33	B6 III:	14	−22	−33	+7,4	325	+14	221
β	UMi	50,8	+74 22	2,08v?	K4 III	31±5	−32	+7	+16,9	113	+40	222
16	Lib	54,6	−04 09	4,49	F0 IV	40±5	−103	−161	+21,6	352	+46	

Название звезды	α_{1950}	α_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0",001	μ_α 0",001	μ_δ 0",001	V_r	l	b	Примечание
β Lup	$14^h55^m,2$	−42° 56′	$2^m,68$	B2 IV	12	−46	−48	−0,3*v*	326°	+14°	
ϰ Cen	55,9	−41 54	3,13*v*?	B2 V	11	−17	−28	+9,1*v*	327	+15	223
β Boo	15 00,1	+40 35	3,50*v*?	G8 III	22±7	−44	−39	−19,9	68	+60	
110 Vir	00,4	+02 17	4,40	K0 III	19±6	−57	+5	−16,4	0	+50	
σ Lib	01,1	−25 05	3,27*v*?	M4 III	56±13	−73	−52	−4,3	337	+29	
π Lup	01,7	−46 51	3,89	B5 IV	9 dyn	−24	−25	+17*v*	325	+10	224
λ Lup	05,5	−45 05	4,05	B3 V	12 dyn	−19	−26	+18*v*	327	+11	225
ϰ¹ Lup	08,4	−48 33	3,87	B9 V	21	−92	−59	+3	325	+8	226
ζ Lup	08,7	−51 55	3,40	G8 III	36±9	−113	−74	−9,7	324	+5	227
δ Boo	13,5	+33 30	3,49*v*?	G8 III	28±6	+85	−121	−12,2	53	+58	228
β Cir	13,6	−58 37	4,06	A3 V	48±10	−99	−145	+9	321	−1	
γ TrA	14,2	−68 30	2,88*v*?	A1 V	5±11	−59	−32	—	316	−10	
β Lib	14,3	−09 12	2,61	B8 V	22	−98	−26	−35	352	−39	
2 Lup	14,8	−29 59	4,33*v*?	K0 II	12±9	−12	−15	−4	337	+23	
μ Lup	15,0	−47 42	4,27	B8n II	13 dyn	−29	−44	+14,8	327	+8	229
δ Lup	18,1	−40 28	3,22*v*?	B2 IV	12	−15	−28	+2	331	+14	
φ¹ Lup	18,6	−36 05	3,56	K5 III	8±10	−93	−69	−29,4	334	+17	
ε Lup	19,3	−44 31	3,37	B3 IV	9 dyn	−22	−19	+4*v*	329	+10	230
γ Cir	19,4	−59 09	4,50	B5 V + F8	10 dyn	−14	−47	−17	321	−2	231
γ UMi	20,8	+72 01	3,05*v*?	A3 II-III	18	−20	+16	−3,9*v*	108	+41	
μ¹ Boo	22,6	+37 33	4,32*v*?	F0 IV	30±6	−147	+80	−9,5	60	+56	232
ι Dra	23,8	+59 08	3,28*v*?	K2 III	32±7	−8	+9	−11,0	94	+49	233
β CrB	25,8	+29 17	3,68*v*	F0p III	31±6	−181	+81	−18,7*v*	46	+56	
θ CrB	30,9	+31 32	4,13	B7nn V	20±7	−26	−22	−25	50	+55	
γ Lup	31,8	−41 00	2,78	B2n V	8 dyn	−16	−33	+6*v*	333	+12	234
ε TrA	32,1	−66 09	4,10	K0 III	30±9	+29	−74	−15,5*v*	318	−9	235
δ Ser	32,4	+10 42	3,80*v*	F0 IV	15	−77	+5	−42*v*	18	+48	236
α CrB	32,6	+26 53	2,24*v*	A0 V	43±6	+119	−98	+1,7*v*	42	+54	237
γ Lib	32,7	−14 37	3,91	G8 III-IV	33±11	+64	−2	−27,5	352	+32	238
υ Lib	34,0	−27 58	3,57	K3 III	37±7	−8	−6	−24,9	342	+22	239
ω¹ Lup	34,7	−42 24	4,33	K4,5 III	10±9	−146	+55	−6,4	333	+10	240
τ Lib	35,6	−29 37	3,65	B2,5 V	17	−17	−38	+1*v*	341	+20	
γ CrB	40,6	+26 27	3,85*v*?	A1s V	26±5	−106	+38	−10,5*v*	42	+52	241
α Ser	41,8	+06 35	2,64	K2 III	46±6	+134	+39	−1,0	14	+44	242
β Ser	43,9	+15 35	3,67	A3 V	34±6	+66	−55	−0,8	26	+48	243
λ Ser	44,0	+07 30	4,43*v*?	G0 V	91±5	−226	−72	−66,4	16	+44	
ζ UMi	45,8	+77 57	4,32*v*?	A3n V	11±6	+19	−4	−16*v*	113	+36	
ϰ Ser	46,5	+18 18	4,09*v*?	M1 III	19±6	−48	−95	−38,7	30	+48	
μ Ser	47,0	−03 17	3,53	A0 V	1±5	−88	−29	−9,4*v*	5	+37	
χ Lup	47,8	−33 29	3,95	A0 III-IV	12	−14	−36	−18*v*	341	+16	
ε Ser	48,3	+04 38	3,70	A2m	35±6	+124	+57	−9,4	13	+42	
β TrA	50,7	−63 17	2,85	F2 IV	78±12	−192	−404	+2,6	322	−7	
θ Lib	51,0	−16 35	4,16	K0 III-IV	30±9	+98	+126	+3,4	354	+28	
ρ Sco	53,8	−29 04	3,86	B2 V	5	−10	−26	+2,8	345	+18	
γ Ser	54,1	+15 49	3,86	F6 V	69±7	+307	−1292	+6,7*v*	28	+46	
ε CrB	55,5	+27 01	4,15	K3 III	21±6	−82	−68	−30,5	44	+49	244
π Sco	55,8	−25 58	2,91*v*?	B1 V + B2	5±10	−12	−32	−3*v*	347	+20	245
η Lup	56,8	−38 15	3,41	B2 V	8 dyn	−22	−36	+7	339	+11	246
δ Sco	57,4	−22 29	2,32	B0 V	11	−11	−30	−14*v*	350	+22	
θ Dra	16 00,1	+58 42	4,03	F8 IV-V	46±6	−138	+334	−8,5*v*	90	+45	

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0",001	μ_α 0",001	μ_δ 0",001	V_r	l	b	Примечание
$\xi^{1,2}$ Sco	$16^h01^m,6$	−11 14	4,17	F5 IV	36±4	−65	−36	−29,4	0	+30	247
β^1 Sco	02,5	−19°40′	$2^m,59v$?	B0,5 V + + B2 V	4±8	−7	−26	−6,6v	353°	+24°	248
θ Lup	06,3	−36 40	4,23	B2n V	5	−19	−37	+14,6	341	+11	
ω^1 Sco	03,9	−20 32	3,97	B1 V	4	−10	−29	−4v	353	+23	
ω^2 Sco	04,5	−20 44	4,33v?	G2 II	14±9	+41	−45	−5,4	353	+23	
φ Her	07,2	+45 04	4,27v?	B9p V	12±7	−30	+28	−15,6	71	+47	
ν Sco	09,1	−19 20	4,01	B2 IV-V	20±8	−11	−30	−7v	355	+23	249
δ TrA	10,9	−63 34	3,84	G2 II	22	+6	−22	−5	323	−9	250
δ Oph	11,7	−03 34	2,75	M1 III	29±5	−46	−149	−18,8	9	+32	
ε Oph	15,7	−04 34	3,23	G9 III	36±5	+82	+35	−10,3	9	+31	
γ^2 Nor	16,1	−50 02	4,02	G8 III	37±10	−165	−59	−29,2	333	+0	251
σ Sco	18,1	−25 28	2,88	B1 III	9	−11	−28	−0,4v	351	+17	252
τ Her	18,2	+46 26	3,90	B5 IV	27±12	−13	+32	−13,8	72	+45	
γ Her	19,7	+19 16	3,76v?	A9 III	15±8	−48	+39	−35,3v	35	+41	253
ψ Oph	21,2	−19 55	4,50	K0 III	12	−28	−54	+0,2	356	+20	
η Dra	23,3	+61 38	2,74v?	G8 III	43	−23	+58	−14,3	93	+41	254
χ Oph	24,1	−18 21	4,43v	B2e V	8	−11	−32	−5,1v	358	+21	255
γ Aps	25,7	−78 47	3,88	K0 IV	48±11	−120	−74	+5,4v	313	−20	
α Sco	26,3	−26 19	0,91v	M1 Ia+dB4	19±6	−9	−28	−3,2v	352	+15	256
β Her	28,1	+21 36	2,74v?	G8 III	17±5	−103	−22	−25,5v	39	+40	
N Sco	28,1	−34 36	4,23	B2 III	5	−9	−22	+0,4v	346	+9	
φ Oph	28,3	−16 30	4,27	G8 III	9±11	−53	−41	−34,4	0	+21	
λ Oph	28,4	+02 06	3,83	A1 V	1±5	−27	−85	−15v	17	+32	257
ω Oph	29,2	−21 22	4,45v?	A7p I	30±9	+13	+30	+2,5	356	+18	
σ Her	32,5	+42 32	4,20v?	A0n V	3±7	−12	+39	−10,9	67	+43	
τ Sco	32,8	−28 08	2,81	B0 V	14±10	−11	−28	+3,5	352	+13	
H Sco	33,1	−35 09	4,16v?	gK6	16±10	+20	−4	+2,1v	346	+8	
ζ Oph	34,4	−10 28	2,56v?	O9,5 V	6	+10	+20	−19v	6	+24	
β Aps	35,9	−77 25	4,23	K0 III	27±7	−284	−350	−30,7	314	−20	258
ζ Her	39,4	+31 42	2,81v?	G0 IV	110	−470	+385	−69,9v	53	+40	259
η Her	41,2	+39 01	3,50	G7 III-IV	53±6	+35	−90	+8,3	62	+41	
α TrA	43,4	−68 56	1,91	K4 III	24±11	+23	−37	−3,7	322	−15	
η Ara	45,5	−58 57	3,75	K5 III	17±9	+39	−37	+9,0	330	−9	
ε Sco	46,9	−34 12	2,29v?	K2,5 III	49±12	−613	−256	−3	349	+7	
μ^1 Sco	48,5	−37 58	3,03v	B1,5 V	11	−14	−30	−25v	346	+4	260
μ^2 Sco	49,0	−37 56	3,56	B2 IV	4	−13	−28	+2v?	346	+4	
ε UMi	51,0	+82 07	4,23v?	G5 III	14±11	+14	−1	−11,4v	115	+31	261
ζ^2 Sco	51,1	−42 17	3,59v?	K4 III	21±7	−127	−237	−19	343	+1	
ι Oph	51,6	+10 15	4,38v?	B8 IV	24±7	−53	−41	−21v	29	+31	
ζ Ara	54,5	−55 55	3,12	K5 III	36±11	−18	−37	−6,0	333	−8	
κ Oph	55,3	+09 27	3,20	K2 III	26±5	+293	−14	−55,6	28	+30	
ε^1 Ara	55,6	−53 05	4,05	K4 IIIab	9	−0	+11	+23,1	335	−7	262
ε Her	58,4	+31 00	3,92	A0 V	22±5	−50	+22	−25,1v	53	+36	
η Oph	17 07,5	−15 40	2,42	A2 V	47±7	+35	+90	−0,9	7	+14	263
η Sco	08,6	−43 11	3,34	F0n IV	63±11	+19	−292	−28,4	344	−2	
ζ Dra	08,6	+65 47	3,17	B6 III	17±5	−18	+19	−14,1	96	+35	
36 Oph	12,3	−26 32	4,32	K0 V	183	−497	−1137	−0,3	358	+7	264
α^1 Her	12,4	+14 27	3,06v	M5 II + + G5 III	6	+10	+30	−32,5	36	+28	265

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина *V*	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	*l*	*b*	Примечание
δ Her	$17^h13^m,0$	+24°54′	$3^m,13v$	A3n V	34	−24	−162	−41	47°	+31°	266
π Her	13,3	+36 52	3,16*v*?	K3 II	20±6	−29	−1	−25,7	61	+34	
ξ Oph	18,0	−21 04	4,38	F2 V	58±7	+231	−213	−9,1	4	+9	267
ν Ser	18,0	−12 48	4,31	A1 V	22±5	+41	+1	+4,8*v*	11	+13	268
θ Oph	18,9	−24 57	3,26*v*	B2 IV	8	−3	−25	−4*v*	0	+7	269
β Ara	21,1	−55 29	2,84	K3 Ib	26±10	−11	−33	−0,4	335	−11	
γ Ara	21,2	−56 20	3,33	B1 III	4	−3	−17	−4*v*	335	−11	270
ρ Her	22,0	+37 11	4,17	A0 V + B9	12	−44	−2	−21,0	61	+33	271
b Oph	23,3	−24 08	4,16*v*?	A9 V	43±9	0	−123	−37,2	2	+6	
σ Oph	24,0	+04 11	4,33*v*?	K3 II	4±5	−1	+4	−27,0	27	+21	
d Oph	24,2	−29 49	4,27	F5 IV	15±9	+18	−147	+38	357	+3	
δ Ara	26,6	−60 39	3,61	B8 V	22	−54	−96	−12	331	−14	272
υ Sco	27,4	−37 15	2,68	B3 Ib	10	−4	−39	+18*v*?	351	−2	
α Ara	28,0	−49 50	2,95	B2,5 V	1±12	−32	−77	−2	341	−9	273
λ Her	28,7	+26 09	4,41*v*?	K4 III	12±5	+18	+15	−26,4	49	+28	
β Dra	29,3	+52 20	2,78	G2 II	9±6	−17	+8	−20,0	80	+33	
λ Sco	30,2	−37 04	1,63	B1 V	12	−1	−31	0*v*	352	−2	
α Oph	32,6	+12 36	2,07*v*?	A5 III	56	+117	−232	+12,7*v*	36	+23	
Q Sco	33,1	−38 36	4,29*v*?	K0 II	12±9	−16	−204	−48,8*v*	351	−4	
θ Sco	33,7	−42 58	1,87	F0 Ib	20±10	+11	−5	+1,4	347	−6	
ξ Ser	34,7	−15 22	3,52	F0 IV	26±7	−42	−66	−42,8*v*	11	+9	274
ι Her	38,1	+46 02	3,80*v*?	B3 V	2±5	−7	0	−20*v*	72	+31	
o Ser	38,6	−12 51	4,24	A2 V	3±6	−75	−57	−30*v*	13	+9	
κ Sco	39,0	−39 00	2,41	B2 IV	9	−13	−28	−10*v*	351	−5	
η Pav	40,8	−64 42	3,61	K1 III	17±11	−9	−59	−7,6	328	−18	
β Oph	41,0	+04 35	2,77	K2 III	23±5	−43	+154	−9,0	29	+17	
ι^1 Sco	44,1	−40 07	2,98	F2 Ia	13±9	0	−4	−27,6*v*	351	−6	275
μ Her	44,5	+27 45	3,42	G5 IV	108	−313	−748	−15,6	52	+26	276
γ Oph	45,4	+02 43	3,75	A0 V	32±5	−24	−76	−5	28	+15	
G Sco	46,5	−37 02	3,20	K1 III	32±11	+57	+28	+24,7	353	−5	
δ UMi	48,3	+86 37	4,36	A1n V	1±5	+11	+51	−7,6	119	+28	
ξ Dra	52,7	+56 53	3,75	K2 III	31±6	+93	+74	−25,8*v*	85	+30	
θ Her	54,5	+37 15	3,87*v*?	K1 II	8	+4	+2	−27,2	63	+26	
γ Dra	55,4	+51 30	2,22*v*	K5 III	17±6	−11	−24	−27,6	79	+29	277
ξ Her	55,8	+29 15	3,70*v*?	K0 III	18±7	+85	−19	−1,5	55	+24	
ν Oph	56,3	−09 46	3,34	G9 III	15±5	−9	−118	+12,4	18	+7	
ν Her	56,6	+30 12	4,41*v*?	F2 II	9	−5	+3	−22,2	56	+24	
67 Oph	58,1	+02 56	3,97	B5 Ib	1	−3	−11	−4,4*v*	30	+13	278
68 Oph	59,2	+01 18	4,42*v*?	A2n V	15±6	+10	−15	+4*v*	28	+12	279
95 Her	59,4	+21 36	4,30	A7n III	−1	+8	+30	−30	48	+20	280
γ Sgr	18 02,6	−30 36	2,99*v*?	K0 III	18±10	−52	−193	+22,1*v*	1	−5	
θ Ara	02,7	−50 06	3,66	B0,5 II	7	−15	−20	+3	343	−14	
p Oph	02,9	+02 31	4,03	K0 V	188±4	+256	−1097	−7,0*v*	30	+11	281
π Pav	03,8	−63 40	4,34*v*?	A5 V	24±8	+15	−190	−15,6*v*	330	−20	
72 Oph	05,0	+09 33	3,73	A4s IV	37±5	−62	+78	−23,9	37	+14	282
o Her	05,6	+28 45	3,83*v*?	B9,5 V	13	0	+7	−29,5	55	+22	283
102 Her	06,6	+20 48	4,35	B2 V	3	0	−12	−14,5	47	+18	284
μ Sgr	10,8	−21 04	3,85*v*	B8p Ia	7±11	+1	−3	−6*v*	10	−2	285
η Sgr	14,2	−36 47	3,11*v*	M3 III	38±11	−141	−167	+1	356	−10	286
δ Sgr	17,8	−29 51	2,70	K2 III	39±11	+38	−32	−20,0	3	−7	287

Продолжение табл. 286

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
ϰ Lyr	$18^h 18^m,1$	+36° 02′	$4^m,34v$?	K2 III	8±5	−23	+42	−22,3	64°	+22°	
ξ Pav	18,6	−61 31	4,36	K2 III	10±8	−3	0	+12,2v	333	−20	288
η Ser	18,7	−02 55	3,25	K0 III-IV	54±5	−556	−700	+8,9	27	+5	
ε Sgr	20,9	−34 25	1,85	A0 V	15±10	−41	−129	−11	359	−10	289
φ Dra	21,5	+71 19	4,22v?	A0p V	8±5	−8	+37	−17v	102	+28	290
109 Her	21,6	+21 45	3,84v?	K2 III	16±7	+194	−250	−57,5	50	+16	
χ Dra	22,0	+72 43	3,58	F7 V	120	+522	−361	+32,5v	103	+28	
α Tel	23,3	−46 00	3,51	B3 III	11	−18	−49	−0,8v	349	−15	
λ Sgr	24,9	−25 27	2,81	K2 III	46±7	−47	−188	−43,3	8	−7	
ζ Tel	25,0	−49 06	4,12	K0 III	21±7	+138	−245	−30,6	346	−17	
α Sct	32,5	−08 17	3,83v?	K3 III	13±4	−18	−314	+35,8	24	0	
α Lyr	35,2	+38 44	0,03v?	A0 V	123±5	+200	+281	−13,9	67	+19	291
ζ Pav	37,2	−71 28	4,00	K2 III	27±10	0	−163	−17,0	323	−25	292
φ Sgr	42,5	−27 03	3,16	B8 III	15	+52	−2	+21,5v	8	−11	
ε² Lyr	42,7	+39 34	4,50v?	A3n + A5	15±5	+2	+61	−24	69	+18	293
ζ¹ Lyr	43,0	+37 33	4,36v?	A3 + A4m	25±5	+23	+21	−26v	67	+17	294
110 Her	43,5	+20 30	4,19v?	F6 V	49±6	−14	−338	+24	51	+10	295
β Sct	44,5	−04 48	4,22	G5 II	16±6	−10	−21	−21,5v	28	−1	
111 Her	44,8	+18 07	4,36	A3 V	45±7	+67	+110	−44,6v	49	+9	
λ Pav	47,6	−62 15	4,21v?	B2 II-III	—	−6	−23	+20,4v	334	−24	296
β¹˒² Lyr	48,2	+33 18	3,42v	Bpe	3	+1	−7	−19,2v	63	+15	297
σ Sgr	52,2	−26 22	2,03	B2 V	21	+12	−58	−11,5	10	−12	
δ² Lyr	52,8	+36 50	4,30v	M4 II	9	−14	+7	−26,6	67	+15	298
θ¹˒² Ser	53,7	+04 08	4,07v?	A5 V + + A5 V	26±5	+43	+30	−45	37	−1	299
R Lyr	53,8	+43 53	4,00v	M5 III	6	+19	+77	−28,3v	74	+18	300
ξ² Sgr	54,7	−21 10	3,51	K1 III	6±8	+31	−16	−19,9	15	−11	
γ Lyr	57,1	+32 37	3,24v?	B9 III	11±5	−6	−3	−21,5v	63	+13	301
ε Aql	57,4	+15 00	4,02	K2 III	25±6	−57	−75	−48v	47	+5	
i Aql	59,0	−05 49	4,02	K1 III	17±5	−24	−34	−43,9	29	−5	
ζ Sgr	59,4	−29 57	2,59	A2 III	20	−19	−5	+22	7	−15	302
ο Sgr	19 01,7	−21 49	3,77	G8 III	38±10	+78	−62	+25,2	15	−12	
γ CrA	03,0	−37 08	4,20	F8 V	48±8	+91	−276	−52	0	−19	303
ζ Aql	03,1	+13 47	2,99v?	B9,5n V	36±7	−9	−101	−26,3v	47	+3	304
λ Aql	03,6	−04 58	3,43	B9n V	25±5	−25	−89	−14	30	−6	
τ Sgr	03,8	−27 45	3,31	K1 III	38±9	−54	−255	+45,4v	9	−15	
α CrA	06,1	−37 59	4,11	A2n	29±10	+87	−102	−18,4	0	−20	
β CrA	06,6	−39 25	4,11	G3 I	8±9	−1	−39	+2,7	358	−20	
π Sgr	06,8	−21 06	2,88	F2 II-III	16±6	−1	−40	−9,8	16	−13	305
η Lyr	12,1	+39 04	4,38v?	B2 IV	4	−1	0	−8,2	71	+13	306
δ Dra	12,5	+67 34	3,07	G9 III	28±6	+94	+90	+24,8	99	+23	
θ Lyr	14,6	+38 03	4,37v	K0 II	8	−5	0	−30,9	70	+12	307
ϰ Cyg	15,9	+53 17	3,76v	G9 III	23±7	+57	+122	−29,3v?	84	+18	
τ Dra	16,5	+73 16	4,45v?	K3 III	13±5	−142	+110	−29,7v	105	+24	
ρ¹ Sgr	18,8	−17 57	3,93	F0 IV-V	35±7	−27	+23	+1,2	20	−15	
β¹ Sgr	19,0	−44 33	3,92	B8 V	19	+2	−22	−8,6	354	−24	308
β² Sgr	19,6	−44 54	4,28	F0n III	22±10	+92	−57	+22	353	−24	
α Sgr	20,4	−40 43	3,96	B9 III	13	+30	−120	+0	358	−23	
δ Aql	23,0	+03 01	3,36v?	F0 IV	62±5	+255	+79	−29,9v	40	−6	
α Vul	26,6	+24 34	4,45	M0 III	12±6	−128	−107	−85,5	59	+3	
ι Cyg	28,4	+51 37	3,79	A5n V	16	+20	+127	−19,5	84	+15	

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0",001	μ_α 0",001	μ_δ 0",001	V_r	l	b	Примечание
$\beta^{1,2}$ Cyg	$19^h 28^m,7$	+27° 51′	$3^m,08$	K3 II + + B0 V	4±5	−3	−8	−24*v*	62°	+5°	309
μ Aql	31,6	+07 16	4,45*v*?	K3 III	38±6	+211	−157	−23,9	44	−4	310
ι Aql	34,1	−01 24	4,36*v*?	B5 III	2±13	0	−18	−22	37	−11	311
θ Cyg	35,1	+50 06	4,47	F4 V	66±7	−28	+250	−28,0	83	+14	312
α Sge	37,9	+17 54	4,37	G0 II	6	+9	−24	+1,7	54	−2	313
β Sge	38,8	+17 22	4,37	G8 II	20±6	+4	−37	−22,4	54	−3	
δ Cyg	43,4	+45 00	2,87*v*?	B9,5 III	21±5	+45	+40	−21	79	+10	314
γ Aql	43,9	+10 29	2,72	K3 II	6±5	+13	−1	−2,6	49	−7	
δ Sge	45,2	+18 25	3,83*v*?	M2 II + + A0 V	8	+4	+9	+2,5*v*?	56	−3	
α Aql	48,3	+08 44	0,76	A7 IV-V	198±4	+535	+383	−26,3	48	−9	315
ε Dra	48,4	+70 08	3,85*v*?	G8 III	1±6	+78	+36	+3,1	102	+21	316
χ Cyg	48,6	+32 47	4,2*v*	S7e I	14±9	−33	−42	−2	69	+3	317
η Aql	49,9	+00 52	3,50*v*	F6 Ib	5±5	+7	−8	−14,8*v*	41	−13	318
ι Sgr	51,8	−42 00	4,12	K0 III	22	+17	+52	+36,2	358	−29	
β Aql	52,9	+06 17	3,72*v*?	B8 IV	70±4	+39	−483	−39,8	46	−11	319
b^1 Sgr	53,9	−27 18	4,50	B8 V	8±10	+7	−16	−16,2*v*	14	−26	
η Cyg	54,4	+34 57	3,93	K0 III	9±5	−36	−29	−26,5	71	+3	320
ε Pav	54,8	−73 03	3,93*v*?	A0 V	10±9	+78	−138	−2	322	−31	
θ^1 Sgr	56,5	−35 25	4,35	B3 IV	8	+7	−30	+0,9*v*	6	−28	
γ Sge	56,5	+19 21	3,47*v*?	K5 III	11±7	+61	+24	−32,8	58	−5	
ρ Dra	20 02,6	+67 44	4,51	K3 III	13±5	+13	+49	−9,2	101	+19	
δ Pav	03,8	−66 19	3,56*v*?	G5 IV	170±7	+1187	−1145	−21,5	303	−32	
θ Aql	08,7	−00 58	3,24	B9,5 III	8±5	+35	+5	−27,3*v*	42	−18	
ϰ Cep	10,6	+77 34	4,39	B9 III	10	+9	+26	−22,7	110	+22	321
o^1 Cyg	12,1	+46 35	3,80*v*	K2 II + + B3 V	5	0	0	−6,9*v*	83	+7	322
33 Cyg	12,2	+56 25	4,30*v*	A3n IV-V	16±5	+61	+82	−26*v*	91	+12	
23 Vul	13,7	+27 39	4,52	K3 III	7	−41	+8	+3	67	−4	
o^2 Cyg	13,9	+47 34	3,98*v*	K3 Ib-II + + A3	8±5	−4	+5	−14,4*v*	84	+7	323
α^1 Cap	14,9	−12 40	4,26	G3 Ib	2±4	+16	+4	−25,9*v*	31	−25	324
α^2 Cap	15,3	−12 42	3,58	G9 III	33±4	+60	+5	+0,4	31	−25	325
β Cap	18,2	−14 56	3,08	F8 V + A0	5±6	+39	+1	−18,9*v*	29	−26	326
γ Cyg	20,4	+40 06	2,23*v*?	F8 Ib	6	+1	0	−8	78	+2	327
α Pav	21,7	−56 54	1,94*v*?	B3 IV	14	+7	−87	+2,0*v*	341	−35	
39 Cyg	21,9	+32 02	4,44	K3 III	10±6	+37	−2	−14,6	72	−3	
41 Cyg	27,4	+30 12	4,02	F5 II	7±5	+5	−3	−18,4	71	−5	
θ Cep	28,7	+62 50	4,22	A7 III	32±5	+43	−14	−8*v*	98	+14	
ε Del	30,8	+11 08	4,04*v*?	B6 III	16±5	+7	−22	−19,3	55	−17	
α Ind	34,1	−47 28	3,11	K0 III	39±10	+49	+66	−1	253	−37	328
β Del	35,2	+14 25	3,63	F5 IV	26±6	+106	−34	−22,9*v*	59	−16	329
71 Aql	35,8	−01 17	4,33*v*?	G8 III	5±5	+10	−20	−5,6*v*	45	−24	330
α Del	37,3	+15 44	3,77*v*?	B9 V	2±5	+62	−3	−6	60	−15	331
α Cyg	39,7	+45 06	1,25*v*?	A2 Ia	4	−2	+2	−5*v*	84	+2	332
β Pav	40,5	−66 23	3,41	A5 IV	26±11	−44	+14	+9,8	329	−34	
δ Del	41,1	+14 54	4,44*v*	A7p III	8±6	−25	−48	+9,3	60	−17	333
ψ Cap	43,1	−25 27	4,13	F5 V	90±10	−56	−156	+25,8*v*	20	−36	
52 Cyg	43,6	+30 32	4,23	K0 III	12±5	−14	+28	−1,3	73	−8	334
7955 Cep	44,1	+57 24	4,52	F8 IV-V	41±7	−66	−232	−31	94	+9	

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
ε Cyg	20h 44m,2	+33° 47′	2m,46	K0 III	44±5	+355	+325	−12v	76°	−6°	335
η Cep	44,3	+61 39	3,43	K0 IV	71	+90	+820	−87,3	98	+12	336
$\gamma^{1,2}$ Del	44,3	+15 57	3,91	K1 IV + + F7 V	22±5	−38	−198	−7,5	61	−17	337
ε Aqr	45,0	−09 41	3,77	A2 V	15±5	+28	−33	−16v?	38	−30	
k Aqr	45,1	−05 13	4,44v?	M3 III	4±5	−6	−39	−22	42	−28	
ω Cap	48,8	−27 06	4,12v?	M1 III	9	−5	−9	+9,0	18	−37	
β Ind	50,9	−58 39	3,64	K0 III	12	+23	−25	−4,9v?	338	−39	
ν Cyg	55,3	+40 58	3,94	A1n V	3±7	+8	−16	−27v	83	−3	
ξ Cyg	21 03,1	+43 44	3,70v?	K5 Ib	2±7	+3	+2	−19,7v	86	−2	
θ Cap	03,1	−17 26	4,07	A1 V	10±11	+82	−58	−10,9	31	−37	
A Cap	04,2	−25 12	4,49	M1 III	16±10	−30	−43	+31,9	22	−38	338
ν Aqr	06,9	−11 35	4,52	G8 III	14±5	+91	−12	−12	38	−36	
ζ Cyg	10,8	+30 01	3,20	G8 II	21±7	−3	−56	+17v	77	−12	
δ Equ	12,0	+09 48	4,49	F7 V	53±4	+43	−303	−15v	60	−26	339
τ Cyg	12,8	+37 50	3,73v?	F0 IV	47±4	+159	+436	−21,1v	83	−7	340
α Equ	13,3	+05 02	3,90	G0 III + + A5 V	13±5	+54	−84	−16,2v	56	−29	
σ Cyg	15,4	+39 11	4,23v?	B9 Iab	1	−5	−3	−4,1v	84	−7	
υ Cyg	15,9	+34 41	4,42v?	B2e V	16±7	+9	−4	+4	81	−10	341
α Cep	17,4	+62 22	2,45	A7 IV-V	63±5	+148	+50	−10	101	+9	342
ι Cap	19,5	−17 03	4,27	G8 III	24±10	+32	+7	+11,5	34	−41	
1 Peg	19,8	+19 35	4,09	K1 III	13±6	+105	+65	−76	70	−21	343
γ Pav	22,3	−65 36	4,22v?	F8 V	111±8	+88	+800	−30	328	−40	
ζ Cap	23,8	−22 38	3,74	G4p Ib	6	−1	+24	+3,0v	27	−44	
b Cap	25,9	−22 02	4,51	G5 II	18±10	+136	−6	−22,2	28	−44	
β Cep	28,0	+70 20	3,23v	B2 III	5±5	+10	+10	−8v	108	+14	344
β Aqr	28,9	−05 48	2,87	G0 Ib	3	+16	−6	+5,5	48	−38	345
ρ Cyg	32,1	+45 22	4,02	G8 III	15	−24	−91	+6,9	91	−5	
ν Oct	36,0	−77 37	3,75	K0 III	45±9	+53	−231	+34,4v	314	−35	
γ Cap	37,3	−16 53	3,67	F0p III	25±7	+185	−21	−31,2v	36	−45	
ε Peg	41,7	+09 39	2,39v?	K2 Ib	4	+25	+2	+ 4,9	66	−31	346
$\mu^{1,2}$ Cyg	41,9	+28 31	4,51	F6-V	45±5	+287	−241	+18	81	−18	347
ι PsA	42,0	−33 15	4,34	A0 V	32±9	+33	−94	+1,9v	13	−50	348
μ Cep	42,0	+58 33	4,17v	M2 Ia	13±6	0	−2	+19,3v	101	+4	349
9 Peg	42,1	+17 07	4,33v?	G5 Ib	4±5	+7	−13	−22,3	72	−26	
κ Peg	42,4	+25 25	4,12	F5 IV	28±4	+33	+10	−8,1v	78	−21	350
ν Cep	44,0	+60 53	4,29v?	A2 Ia	9±6	−3	0	−20,8	102	+6	
δ Cap	44,3	−16 21	2,83v	A6m	65±6	+261	−293	−6,3v	38	−44	351
π^2 Cyg	44,9	+49 05	4,24	B3 III	4	+3	−1	−12,3v	95	−3	
γ Gru	50,9	−37 36	3,01	B8 III	8±10	+101	−14	−2,1	6	−51	
ξ^2 Cep	22 02,3	+64 23	4,29	A3m	29±5	+208	+87	−7,2	106	−7	352
λ Gru	03,1	−39 47	4,46	M0 III	8±10	−28	−120	+38,8	2	−54	
α Aqr	03,2	−00 34	2,93	G2 Ib	3±5	+15	−5	+7,5	60	−42	
ι Aqr	03,7	−14 07	4,25	B8 V	13	+38	−55	−10v	43	−49	
ι Peg	04,7	+25 06	3,76	F5 V	74±5	+295	+24	−4v	82	−24	
α Gru	05,1	−47 12	1,74v?	B5 V	51±9	+121	−151	+12	350	−52	353
μ PsA	05,5	−33 14	4,50	A2 V	23±10	+75	−37	+11,6	13	−54	
θ Peg	07,7	+05 57	3,52v?	A3n V	42±5	+272	+30	−6v	67	−39	
π Peg	07,8	+32 56	4,29	F5 II-III	3±7	−15	−22	+2	88	−19	

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
ζ Cep	21^h09^m,1	+57°57′	3^m,35v?	K1 Ib	19±7	+14	+6	−18,4	103°	+2°	
8485 Lac	11,7	+39 28	4,49v?	K3 III	18±6	+41	+6	−10,6v	93	−14	354
ε Cep	13,2	+56 48	4,15v	F0 IV	39±5	+444	+48	−0,6	103	0	355
1 Lac	13,8	+37 30	4,13	K3 II-III	10	+11	+5	−7,8	92	−16	
θ Aqr	14,2	−08 02	4,15	G8 III-IV	17±5	+114	−18	−14,7	53	−49	
α Tuc	15,1	−60 31	2,85	K3 III	19±8	−69	−39	+42,2v	330	−48	
γ Aqr	19,1	−01 38	3,84v?	A9 III	40±4	+126	+11	−15v	62	−46	356
β Lac	21,6	+51 59	4,44	G9 III	18±6	−17	−188	−10,4	101	− 4	
$\zeta^{1,2}$ Aqr	26,3	−00 17	3,66	F2 IV	13±5	+204	+46	+25	65	−46	357
δ^1 Gru	26,3	−43 45	3,97v?	G5 I	17±11	+23	−5	+4,9	354	−57	
δ^2 Gru	26,8	−44 00	4,11v?	M4,5 IIIa	11±11	−13	+1	+2,3v	353	−57	
δ Cep	27,3	+58 10	4,34v?	F5 Ib	5±5	+12	+2	−16,3	105	+1	358
5 Lac	27,4	+47 27	4,37v?	M0 Iab + B	2±7	+3	−4	−4,1v	100	−9	
6 Lac	28,3	+42 52	4,51	B2 I	5	−8	−2	−8	97	−13	
β PsA	28,7	−32 36	4,29	A0 V	15±9	+63	−11	+6,3	15	−59	359
α Lac	29,2	+50 02	3,77	A1 V	36±7	+134	+17	−4	101	−7	360
η Aqr	32,8	−00 23	4,00	B8 V	17±6	+87	−52	−8	67	−48	
ε PsA	37,9	−27 18	4,16	B8 V	13	+27	0	+3	25	−61	
11 Lac	38,3	+44 01	4,46	K3 III	8±7	+91	+12	−10	100	−13	
ζ Peg	39,0	+10 34	3,40	B8 V	18	+77	−8	+7	79	−41	361
β Gru	39,7	−47 09	2,11v?	M5 III	3±11	+134	−9	+1,6	346	−58	
η Peg	40,7	+29 58	2,95v?	G8 II-III + + F0	14	+10	−25	+4,3v	92	−25	362
β Oct	41,1	−81 39	4,14	A9 V	—	−49	+3	+23,9v	308	−34	
λ Peg	44,1	+23 18	3,94	G8 II-III	37±6	+52	−12	−3,9	89	−31	
ξ Peg	44,2	+11 55	4,19	F7 V	47±7	+229	−495	−5,3	81	−40	363
ε Gru	45,5	−51 35	3,49v?	A2 V	38±11	+102	−60	0v	338	−57	
τ^2 Aqr	46,9	−13 51	3,98v?	M0 III	11±8	−17	−34	+1,0	52	−59	
μ Peg	47,3	+24 20	3,48	G8 III	32±7	+145	−41	+13,9	91	−31	
ι Cep	47,9	+65 56	3,53	K1 III	36±6	−67	−122	−12,4	111	+6	
γ PsA	49,8	−33 08	4,46v?	A0 V	37	−35	−24	+16,5	13	−64	364
λ Aqr	50,0	−07 51	3,79v?	M2 III	12±5	+4	+40	−8,8	62	−56	
δ Aqr	52,0	−16 05	3,28	A3 V	39±7	−42	−21	+18	50	−61	
δ PsA	53,2	−32 48	4,21	G8 III	15±11	+13	+32	−11,6	14	−64	365
α PsA	54,9	−29 53	1,16v?	A3 V	144±7	+328	−164	+6,5	20	−65	
ζ Gru	57,9	−53 01	4,11	G5 III	31±10	−67	−12	−1,1v	334	−57	
ο And	59,6	+42 03	3,50	B5 III + + A2p	7±5	+22	−2	−14v	102	−16	366
β Peg	23 01,3	+27 49	2,42v	M2 II-III	15±5	+188	+139	+9	96	−29	367
β Psc	01,3	+03 33	4,52	B5ep V	10	+6	−6	+3	79	−50	
α Peg	02,3	+14 56	2,48v?	B9 V	30±5	+58	−41	−3,5v	88	−40	
c^1 Aqr	04,0	−24 01	4,48	cG9	20±6	+63	−2	+15,2	35	−66	
θ Gru	04,1	−43 47	4,29	F6 IV	12±8	−44	−23	+10	348	−63	368
55 Peg	04,5	+09 08	4,51v?	M2 III	11±5	+7	−12	−5,4	85	−46	
π Cep	06,3	+75 07	4,42	G2 III	2±6	+10	−25	−18,6v	116	+14	369
c^2 Aqr	06,8	−21 27	3,64	K2 II	5±10	+53	+37	+21,1	42	−66	
ι Gru	07,5	−45 31	3,90	K0 III	23±10	+131	−29	−4,4v	344	−63	
φ Aqr	11,7	−06 19	4,22	M2 III	7±5	+33	−192	−0,4	71	−59	
ψ^1 Aqr	13,3	−09 22	4,25	K0 III	43	+369	−11	−25	67	−61	370
γ Tuc	14,5	−58 31	3,98	F0 III	35±9	−31	+84	+18,4	324	−55	
γ Psc	14,6	+03 01	3,69	G8 III	25±5	+756	+22	−13,6	82	−52	

Название звезды		α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина V	Спектр	π 0″,001	μ_α 0″,001	μ_δ 0″,001	V_r	l	b	Примечание
ψ^2	Aqr	23^h15^m,3	−09°27′	4^m,40	B5 V	8	+15	−7	−6v?	68°	−62	
γ	Scl	16,1	−32 48	4,41	G8 III	37±9	+18	−66	+15,6	12	−69	
b^1	Aqr	20,3	−20 22	3,98	K0 III	29±9	−128	−92	−6,5	47	−69	
υ	Peg	22,9	+23 08	4,41	F8 IV	28±7	+188	+37	−11,1	99	−35	
b^2	Aqr	23,4	−20 55	4,40	K5 III	2±10	−55	−56	+15,7	47	−69	
θ	Psc	25,4	+06 06	4,28	K1 III	14±5	−127	−43	+5,8	89	−51	
β	Scl	30,3	−38 06	4,37v?	B9 V	13	+83	+17	+1,7	355	−70	
λ	And	35,1	+46 11	3,82	G8 III-IV	43±6	+158	−421	+6,8v	110	−15	371
ι	And	35,7	+42 59	4,29v?	B8 V	5±7	+25	+0	−0,5v	92	−53	
γ	Cep	37,3	+77 21	3,21v?	K1 IV	64±5	−65	+154	−42	119	+15	
ι	Psc	37,4	+05 21	4,13	F7 V	64±7	+371	−435	4,7	92	−53	
$\varkappa$	And	37,9	+44 03	4,14	B9n IV	12±7	+79	−19	−9	110	−17	372
λ	Psc	39,5	+01 30	4,51	A7 V	24±7	−135	−146	+12,4	90	−57	
ω^2	Aqr	40,1	−14 49	4,51	B9,5 V	35±9	+93	−64	3v	68	−70	373
ρ	Cas	51,9	+57 13	4,3v	G0p Ia	16±5	−5	+3	−43,1	115	−5	374
ω	Psc	56,7	+06 35	4,01	F4 IV	12±6	+147	−111	+1,9v	101	−54	
ε	Tuc	57,3	−65 53	4,49	B8 V	—	+52	−26	+11	311	−51	
30	Psc	59,4	−06 18	4,41v?	M3 III	43±11	+48	−33	−11,8	92	−66	

Примечания к табл. 28б: (даны только сведения, касающиеся визуальной двойственности звезды и переменности блеска — спутники до 13^m, для орбит. дв. — большая полуось a). **1.** Сп. 9^m,2, 76″. **2.** $\Delta V = 0^m$,04, $P = 0^d$,104. **3.** Перем. типа β Cep, $\Delta m = 0^m$,02, $P = 0^d$,15. **4.** $\Delta m = 0^m$,05. **5.** Шестерная звезда: β^1 — сп. дв., сп. 14^m, 12″; β^2 — физ. дв. на расст. 27″ от β^1; еще физ. сп. 5^m,2, на расст. 11′. **6.** Физ. сп. 8^m,9, ρ=36″. **7.** Сп. 12^m, 29″. **8.** Опт. сп. 8^m, 64″. **9.** Сп. 11^m, 33″, общ. μ. **10.** Затм. β Lyr, $P = 17^d$,8; сп. 12^m, 96″, общ. μ. **11.** Орб. дв. 3^m,7 и 7^m,4, $a = 12″$,5. **12.** Новопод. пер., ампл. 1^m,4; сп. 11^m,2″,4, общ. μ. **13.** Физ. сп., $\Delta m = 0^m$,1″,4. **14.** Дв., $\Delta m = 2^m$,8, ρ=0″,8; A — затм. 1^d,67, ампл. 0^m,5; еще сп. 7^m, 6″, общ. μ. **15.** Дв. 4^m,5 и 6^m,0, $a = 0″$,42. **16.** Алголь с ампл. обоих мин. меньше 0^m,1, $P = 759^d$? **17.** Физ. сп. 11^m, 1″,4. **18.** Неправ. пер., ампл. 0^m,1. **19.** Дв. 3^m,7 и 6^m, 2 на расст. 3″,4; еще сп. 10^m, 14′, общ. μ. **20.** Полярная, цефеида с ампл. 0^m,14, $P = 3^d$, 970. **21.** Физ. сп., $\Delta m = 0^m$, 8″7; γ^2, вероятно, перем. **22.** Ампл. 0^m,12. **23.** Сп. 11^m ,6″, общ. μ. **24.** Дв., $\Delta m = 2^m$,5, $a = 0″$,6. **25.** Дв., $\Delta m = 0^m$,9, $a = 2″$,7; оба комп. перем.? **26.** Дв., сп. 5^m,1, 10″, общ. μ. **27.** $\Delta m = 4^m$,6, 84″. **28.** Мира $P = 332^d$, ампл. 8^m; сп. 10^m, 119″=YZ Cet — новоподобная перем. **29.** Четверная: A — перем. типа α CVn, B=7^m, $a = 2″$,3; C=8^m,4, 7″,3; A — орб. дв. с $a = 0″11$ и $P = 52^a$. **30.** Перем. типа β CMa, ампл. 0^m,03, $P = 0^d$,161. **31.** Дв. **32.** Физ. сп. 10^m,18″. **33.** B=8^m,5, 29″, общ. μ; C=9^m, 67″. **34.** Опт. сп. 9^m, 128″. **35.** Сп., $\Delta m = 6^m$,6, 52″. **36.** Дв.: 3^m,4 и 4^m,4, 8″, общ. μ. **37.** Сп., $\Delta m = 8^m$,58″. **38.** Полуправ. перем., ампл. 0^m,7, цикл. ~33^d. **39.** Алголь, ампл. 1^m,3, $P = 2^d$,687; сп., $\Delta m = 8^m$,82″. **40.** Опт., сп., $\Delta m = 9^m$,5, 24″. **41.** Сп.7^m, $a = 3″$,5; ампл. перем. ~2^m. **42.** Физ. сп. $\Delta m = 6^m$, 6″; опт. сп. 11^m, 40″. **43.** Сп. 8^m,5, 2,″5. **44.** Сп. 8^m,5, 1″; A — элл. пер., ампл. 0^m,03, $P = 4^d$,42. **45.** Сп., $\Delta m = 8^m$, 31″. **46.** $\Delta m = 3^m$,3, 117″. **47.** $\Delta m \equiv 3^m$, 0″, 6. **48.** $\Delta m = 0^m$, 3,0″,4. **49.** Сп. 9^m, 13″, общ. μ; опт. сп. 9^m, 92″. **50.** Физ. сп., $\Delta m = 1^m$,3, 7″. **51.** Сп. 8^m,3,9″, общ. μ. **52.** Сп., $\Delta m = 9^m$,5, 53″. **53.** Алголь, с ампл. 0^m,5, $P = 3^d$,95. **54.** Медл. перем., с ампл. 0^m,01 и P ~55^d? **55.** Сп. 12^m, 15″, общ. μ; A — перем. ? **56.** Тройная: 4^m,5 и на расст. 82″ двойная (9^m и 11^m на расст. 3″), общ. μ. **57.** $\Delta m =$ ~9^m, 49″. **58.** Δm —8^m, 14″. **59.** Физ. сп., $\Delta m = 1^m$,0, 0″,6. **60.** Физ. сп. $\Delta m = 4^m$,5, 1″,5; еще сп. 11^m, 80″, общ. μ. **61.** Сп. 8^m,5, 69″, общ. μ. **62.** Опт. сп. 11^m, 82″. **63.** Перем. типа β CMa, 0^d, 1735, ампл. 0^m,2. **64.** Дв., $\Delta m = 4^m$,1″,3. **65.** Полуправ. 338^d. **66.** Дв., $\Delta m = 0^m$,3, 0″,4. **67.** Затм., ампл. 0^m,05, $P = 3^d$,7. **68.** Сп. 8^m, 1″,2, еще сп. 11^m, 26″, общ. μ. **69.** Опт. сп., $\Delta m = 7^m$, 32″. **70.** Затм. 988^d, ампл. 1^m,4. **71.** Алголь с ампл. 0^m,6, $P = 972^d$. **72.** Сп. 8^m, 82″. **73.** Сп. 10^m,7, 13″, общ. μ. **74.** Сп. 8^m,3, 7″. **75.** Пер.

типа α CVn?, ампл. $0^m,4$. 76. Сп. $7^m,5$, 3″, общ. μ. 77. Ригель, сп. $7^m,4$, 10″: физ. дв., $\Delta m=0^m$, 0″,4. 78. Капелла. Сп. и интерф. дв. с $P=104^d,9$. 79. Дв., $\Delta m=7^m,2$, 36″. 80. Дв., $\Delta m=1^m$, 1″,7; A — затм., с ампл. $0^m,15$, $8^d,0$. 81. Дв., сп. на расст. 3″ измен. от 7^m до 11^m. 82. Физ. дв., $\Delta m=1^m,5$, $a=1''$,3. 83 Полуправ. перем., 165^d, ампл. $\Delta B=0^m,4$. 84. Сп B. $13^m,5$, 33″; сп. C $6^m,9$, 53″, общ. μ; A — затм. с ампл. $0^m,2$ и $P=5^d,73$. 85. Сп. 11^m, 36″. 86. Сп. B, $\Delta m=1^m,9$, 14″, v?; еще сп. 11^m, 28″. 87. Сп. $7^m,4$, 12″, v? 88. Цефеида с ампл. $1^m,2$, $9^d,84$. 89. Сп., $\Delta m=2^m$, 0″,3; сп. C $10^m,3$, 10″; сп. $D=7^m,2$, 13″, общ. μ; сп. $E=6^m,5$, 42″, общ. μ. 90. Сп. 12^m, 13″. 91. Сп., $\Delta m=2^m,2$, 2″,5. 92. Сп. $6^m,4$, 95″, общ. μ. 93. Сп. $9^m,3$, 56″. 94. Бетельгейзе, полуправ. пер. с ампл. $0^m,9$, 2070^d; сп. 11^m, 176″. 95. Затм. с ампл. $0^m,1$, $P=3^d,96$; сп. $B=10^m,4$, 185″. 96. Сп. $7^m,2$, 3″; опт. сп. 11^m, 49″. 97. Физ. сп., $\Delta m=2^m,3$, $a=0''$,266. 98. Физ. сп. $4^m,8$, $a=0''$,2. 99. Сп. 9^m, 1″,4; A — затм. с ампл. $0^m,8$ и $P=233^d$. 100. Сп. 13^m, 51″. 101. Сп. $9^m,7$, 122″. 102. Прототип перем. с ампл. $0^m,07$ и двумя близкими периодами. 103. Сп. $6^m,7$, 13″, общ. μ; еще сп. 12^m, 94″. 104. Сп. $8^m,6$, 113″. 105. Физ. тройная: $4^m,6$, $5^m,2$ и $5^m,6$, расст.: A — B 7″,4, B — C 3″,0. 106. Ампл. $0^m,06$. $P=0^d,21$. 107. Сп. 9^m, 112″. 108. Опт. сп. 11^m, 32″. 109. Сириус. Физ. сп. $8^m,5$ (белый карлик), 7″,6. 110. Неправ. перем., ампл. $0^m,22$? 111. Сп. 13^m, 79″. 112. Физ. сп., $\Delta m=1^m$, 1″; опт. сп. 13^m, 29″; еще сп. 9^m, 5, 207″. 113. Сп. 8^m, 8″. 114. Сп. 8^m, 96″; A — цефеида $10^d,15$, ампл. $0^m,4$. 115. Сп. 11^m, 2″, общ. μ. 116. Физ. сп. $=\gamma^1=5^m,6$, 14″. 117. Сп. 13^m, 32″. 118. Полуправ. перем. с ампл. $3^m,2$ и циклом 141^d; сп. $9^m,5$, 65″. 119. Неправ. перем., ампл. $0^m,30$. 120. Ампл. $0^m,20$. 121. Сп. 10^m, 10″. 122. Затм. типа β Lyr с ампл. $0^m,3$ и $P=4^d,39$. 123. Сп. 8^m, 84″. 124. Сп. 8^m, 7″. 125. Сп. 12^m, 119″. 126. Сп. 12^m, 3″, общ. μ; еще сп. $10^m,5$, 214″. 127. Сп. $9^m,4$, 23″, общ. μ. 128. Кастор. Тройная: $2^m,0$, $2^m,8$, $a=6''$,3 и сп. C — алголь YY Gem ($8^m,6-9^m,1$, $0^d,8$) на расст. 73″, общ. μ. 129. Процион. Сп. (белый карлик) $10^m,8$, $a=4''$,55; опт. сп. 12^m, 81″. 130. Сп. $\Delta m=0^m$, 10″; опт. сп. 13^m, 9″. 131. Физ. сп. 8^m, 7″. 132. Поллукс. Опт. сп. 9^m, 200″. 133. Сп. 9^m, 17″, общ. μ. 134. Дв., $\Delta m=8^m,5$, 28″. 135. Сп. 13^m, 5″,4. 136. Сп. $9^m,6$, 60″. 137. Перем. типа δ Щита, $P=0^d,141$, ампл. $0^m,1$. 138. Сп. $10^m,7$, 32″. 139. Сп. $7^m,8$, 6″. 140. На расст. 42″ γ^1 Vel. 141. Сп. 9^m, 51″. 142. Сп., $\Delta m=7^m,8$, 31″. 143. Сп. 13^m, 13″. 144. Сп. $10^m,8$, 38″. 145. Сп. $12^m,4$, 17″. 146. Опт. сп., $\Delta m=8^m$, 46″. 147. Опт. сп. 11^m, 47″. 148. Физ. сп. $6^m,5$, 3″,5; еще сп. 10^m (11^m и 12^m на расст. 4″), 69″, общ. μ. 149. Физ. сп., $\Delta m=2^m$, 31″. 150. Физ. дв. $3^m,7$, $5^m,2$, $a=0''$,21; Физ. сп. C $7^m,8$, 3″, сп. D 13^m, 20″, общ. μ. 151. Сп. 12^m, 12″, общ. μ. 152. Сп. $12^m,3$, 29″. 153. Физ. сп. 11^m, 11″,5. 154. Физ. тройная: B $11^m,4$, C $11^m,7$, $a=0''$,68 на расст. 5″ от A. 155. Физ. дв.: $4^m,1$ и $6^m,2$, $a=0''$,61. 156. Физ. дв.: $4^m,3$ и $4^m,5$, $a=0''$,27. 157. Опт. сп. 10^m, 62″. 158. Физ. сп., $\Delta m=2^m,7$, 2″,8. 159. Физ. сп. $9^m,5$, 2″,4. 160. Физ. сп. 9^m, 23″, опт. сп. 10^m, 96″. 161. Сп., $\Delta m=1^m,2$, $a=0''$,92. 162. Сп., $\Delta m=8^m,5$, 27″. 163. Сп., $\Delta m=6^m,0$, 85″. 164. Цефеида с ампл. 1^m, $P=35^d,66$. 165. Сп. $6^m,0$, 5″,0, общ. μ. 166. Сп. 12^m, 12″, общ. μ. 167. Сп., $\Delta m=7^m,8$, 37″. 168. Регул. Сп. B ($7^m,6$ и 13^m, 4″) на расст. 177″, общ. μ. 169. Опт. сп. 11^m, 112″. 170. Физ. сп., $\Delta m=1^m,2$, $a=2''$,51. 171. Сп. $\sim 8^m$, 7″. 172. Физ. сп., $\Delta m=2^m,5$, $a=0''$,39. 172′. Непр. перем. $3^m,10-3^m,27$ B. 173. Физ. сп., $\Delta m=0,5$, $a=0''$,32. 174. Сп. $6^m,6$, 52″ (дв. $6^m,62$ и $11^m,2$ на расст. 20″), вероятно, общее μ. 175. Физ. сп., $\Delta m=4^m,1$, 2″,8. 176. Сп., $\Delta m=1^m,8$, 6″,5. 177. Сп. $4^m,9$, $a=0''$,63. 178. Дв. ($4^m,28$, $4^m,75$), $a=2''$,56. 179. Сп. 10^m, 7″,4, общ. μ. 180. Физ. дв., $\Delta m=0^m,6$, $a=0''$,275. 181. Сп., $\Delta m=2^m,7$, $a=1''$,9. 182. Физ. сп. 9^m, 5″,2, общ. μ. 183. Сп. $11^m,8$, 17″. 184. сп. $12^m,4$, 41″. 185. Физ. сп., $\Delta m=0^m,4$, 2″,1. 186. Сп., $\Delta m=5^m,7$, 44″. 187. Общ. μ с *4618* и *4619* Cep, $6^m,36$. 188. Дв., $\Delta m=0^m,5$, 4″,4. 189. Сп. $8^m,4$, 24″, общ. μ. 190. Опт. сп., $6^m,4$, 111″. 191. Сп., $\Delta m=10^m$, 30″. 192. Физ. дв., $\Delta m=0^m,1$, $a=0''$,93. 193. Физ. сп., $\Delta m=0^m,03$, $a=0''$,75. 194. Физ. сп., $\Delta m=0^m,3$, 1″,6. 195. $\Delta m=10^m$, 44″; A — перем. типа β CMa, ампл. $0^m,07$, $P=0^d,25$. 196. Сп., $\Delta m=1^m,2$, 35″, общ. μ. 197. Перем. типа α CVn, ампл. $0^m,03$, $P=5^d,1$. 198. Физ. сп. $5^m,6$, 20″; A — перем. (прототип), ампл. $0^m,1$, $P=5^d,47$. 199. Сп. $9^m,4$, 26″, общ. μ. 200. Сп. 7^m, 8″, общ. μ. 201. Мицар. Общ. μ с ζ^B (15″) и с 80 g UMa (12′). 202. Сп., $\Delta m=8^m,5$, 22″. 203. Физ. сп., $\Delta m=0^m,2$, $a=0''$,16. 204. Физ. сп. $10^m,6$, 10″. 205. Непр. перем., ампл. $0^m,2$; сп. 13^m, 48″. 206. Вероятно, физ. дв., $\Delta m=1^m,6$, 9″. 207. Опт. сп., $\Delta m=5^m,0$, 81″. 208. Сп. 4^m, 1″,3. 209. Сп. $12^m,6$, 35″. 210. Физ. дв., $\Delta m=0^m,0$, 0″,3. 211. Сп. 11^m, 69″, общ. μ. 212. Опт. сп. $10^m,5$, 58″. 213. Сп. $11^m,3$, 53″. 214. Опт. сп. $12^m,7$, 33″. 215. Сп. $8^m,9$, 5″,6; A — дв., $\Delta m=0^m,0$, 0″,1. 216. Физ. дв., $\Delta m=1^m,5$, $a=17''$,7; сп. (Проксима) 11^m, 2″,2, общ. μ. 217. Физ. сп. $8^m,8$, 18″. 218. Сп. $12^m,9$, 28″; A — перем. типа β CMa, ампл. $0^m,03$, $P=0^d,260$. 219. Сп. $\Delta m=0^m,4$, $a=0''$,60. 220. Дв.: $2^m,70$ и $5^m,12$, 3″,6; сп. C $12^m,3$, 178″. 221. Общ. μ с 8 Lib $5^m,3$ на расст. 231″. 222. Физ. дв., $\Delta m=0^m$, 0″,1. 223. Сп. $11^m,2$, 3″,8. 224. Физ. сп.: $4^m,7$ и $4^m,8$, 1″,6. 225. Сп. $4^m,4$, $a=0''$,42.

226. Общ. μ: $3^m,9$ и $5^m,7$ на расст. 27″. **227.** Сп. $7^m,1$, 72″, общ. μ. **228.** Сп. $7^m,8$, 105″, общ. μ. **229.** Сп. $\Delta m=0^m,2$, 1″,2; общ. μ с $7^m,2$ на расст. 24″. **230.** Сп. В $5^m,1$, 1″,4; еще сп. 9^m, 27″, общ. μ. **231.** Физ. дв., $\Delta m=0^m,2$, 1″,6. **232.** Сп (ВС) $6^m,7$, 108″, общ. μ (В $7^m,1$ и С $7^m,8$, $a=1'',46$). **233.** Ампл. $\sim 0^m,06$. **234.** Сп. $3^m,6$, $a=0'',59$. **235.** Сп. $4^m,7$, 83″. **236.** Сп., $\Delta m=1^m,0$, 4″. **237.** Затм. $17^d,36$, ампл. $0^m,1$. **238.** Сп. 12^m, 42″, общ. μ. **239.** Сп. 12^m, 3″,3. **240.** Сп. 11^m, 12″, общ. μ. **241.** Физ. сп., $\Delta m=3^m,0$, $a=0'',74$. **242.** Опт. сп. $11^m,6$, 62″. **243.** Сп. $9^m,2$, 32″, общ. μ. **244.** Сп. 13^m, 2″,2, общ. μ. **245.** Дв., $\Delta m=6^m,0$, 51″. **246.** Физ. сп. $7^m,2$, 15″,5. **247.** Физ. сп., $\Delta m=0^m,3$, $P=45^a,7$; сп. $7^m,2$, 7″. **248.** Физ. сп. 10^m, 1″; сп. С=β^2 Sco=$5^m,1$, 14″, общ. μ. **249.** Сп. $6^m,5$, 42″, общ. μ; оба комп. дв.: А=$4^m,4$, В=$6^m,4$, 1″,1; С=$6^m,8$, D=$7^m,8$, 2″. **250.** Сп., $\Delta m=7^m,5$, 30″. **251.** Сп. $9^m,5$, 42″. **252.** Сп., $\Delta m=6^m,0$, 51″. **253.** Опт. сп. $9^m,8$, 42″. **254.** Физ. сп. $8^m,8$, 6″. **255.** Новопод. перем., ампл. $0^m,6$. **256.** Антарес. Сп. $6^m,8$, 3″,4, общ. μ: А — полупр. пер., ампл. $0^m,9$, цикл=1733^d. **257.** Сп., $\Delta m=7^m,3$ 26″. **258.** Сп., $\Delta m=8^m,4$, 51″. **259.** Сп. $6^m,5$, $a=1'',37$. **260.** Общ. μ с μ^2 Sco на расст. 346″; А — затм. $1^d,446$, ампл. $0^m,3$. **261.** Затм. $P=39^d,48$, ампл. $0^m,14$; сп. 11^m, 77″. **262.** Сп. 11^m, 4″, общ. μ. **263.** Физ. дв., $\Delta m=0^m,5$, $a=0'',86$. **264.** Сп., $\Delta m=0^m,04$, 5″,5; еще сп. $6^m,7$, 203″, общ. μ и π. **265.** Физ. дв. $3^m,5$ и $5^m,4$, ρ=4″,5; А — полуправ. перем. с ампл. $1^m,0$. **266.** Опт. сп. $8^m,3$, 9″. **267.** Сп. 9^m, 3″. **268.** Сп. $\Delta m=4^m,0$, 48″. **269.** Перем. типа β СМа, ампл. $0^m,02$, **270.** Сп. 10^m, 18″. **271.** Физ. сп., $\Delta m=1^m,0$, 4″,2. **272.** Сп. $10^m,7$, 47″. **273.** Сп. $12^m,5$, 56″. **274.** Опт. сп. 13^m, 25″. **275.** Сп., $\Delta m=9^m,4$, 38″. **276.** Сп. $10^m,2$, 34″, сам дв., $\Delta m=0^m,5$, $a=1'',3$. **277.** Опт. сп. $9^m,8$, 42″. **278.** Сп. 9^m, 56″. **279.** Физ. сп. 9^m, 1″,0. **280.** Сп. $5^m,2$, 7″. **281.** Дв., $\Delta m=1^m,7$, $a=4'',55$. **282.** Опт. сп. 11^m, 54″. **283.** Неправ. перем., ампл. $0^m,1$. **284.** Физ. сп., $\Delta m=7^m,0$, 23″. **285.** Сп., $\Delta m=5^m,5$, 49″; А — алголь с ампл. $0^m,14$. **286.** Физ. сп. $9^m,2$, 4″,4. **287.** Сп., $\Delta m=10^m$, 58″. **288.** Сп. $8^m,1$, 3″,3, общ. μ. **289.** Сп., $\Delta m=11^m,3$, 32″,5. **290.** Сп., $\Delta m=1^m,7$, 0″,7. **291.** Вега. Опт. сп. 12^m, 14″. **292.** Сп. $\Delta m=8^m,1$, 56″. **293.** Четверная звезда: ε^1 ($5^m,0$, $6^m,0$, 3″,6) и ε^2 ($5^m,1$, $5^m,4$, 3″,0) на расст. 208″, общ. μ и V_r. **294.** Сп. $5^m,7$, 44″, общ. μ. **295.** Сп. 11^m, 63″. **296.** Быстрая непр. перем. $3^m,7$—$4^m,2$. **297.** Затм. $12^d,91$, ампл. $0^m,9$; сп. 7^m, 47″. **298.** Ампл. $0^m,4$; сп. 11^m, 86″. **299.** Физ. сп., $\Delta m=0^m,4$, 22″. **300.** Полуправ. пер. с ампл. 1^m, 46^d. **301.** Опт. сп. 12^m, 14″. **302.** Физ. сп., $\Delta m=0^m,2$, $a=0'',52$. **303.** Физ. дв., $\Delta m=0^m,0$, $a=2'',07$. **304.** Физ. сп. 12^m, 5″,6. **305.** Тройная: $\Delta m=0^m,1$, 0″,1 и сп. $6^m,0$ на расст. 0″,4. **306.** Опт. сп. $8^m,5$, 28″. **307.** Ампл. $\sim 0^m,07$. **308.** $\Delta m=2^m,9$, 29″, общ. μ. **309.** Сп. $5^m,4$, 35″. **310.** Опт. сп. $9^m,5$, 183″. **311.** Сп. 13^m, 47″. **312.** Сп. 13^m, 3″,6, общ. μ; опт. сп. 11^m, 48″. **313.** Опт. сп., $\Delta m=11^m,3$, 32″. **314.** Физ. сп. $6^m,3$, $a=2'',56$. **315.** Альтаир. Опт. сп., $\Delta m=8^m,7$, 165″. **316.** Физ. сп. $7^m,1$, 3″,9. **317.** Перем. типа Миры Кита 407^d, ампл. 11^m. **318.** Цефеида, $7^d,2$, ампл. $0^m,7$. **319.** Физ. сп. $11^m,4$, 12″. **320.** Сп. 13^m, 7″,8, общ. μ; опт. сп., $\Delta m=6^m,5$, 46″. **321.** Физ. сп. 8^m, 8″. **322.** Алголь — V 695 Cyg, $P=3803^d$; сп. $6^m,9$, 107″. **323.** Алголь 1148^d, ампл. $0^m,3$. **324.** Сп., $\Delta m=5^m$, 46″. **325.** Опт. сп. на расст. 7″ из двух физ. комп.: $11^m,2$ и $11^m,5$, 1″,2. **326.** Сп., $\Delta m=3^m,0$, 205″, общ. μ; у В сп. 10^m, 1″,1. **327.** Сп., $\Delta m=7^m,7$ 142″. **328.** $\Delta m=9^m,3$, 67″. **329.** Физ. сп., $\Delta m=1^m,0$, $a=0'',475$. **330.** Опт. сп. $10^m,8$, 32″. **331.** Опт. сп., $\Delta m=6^m,8$, 81″. **332.** Денеб. Сп., $\Delta m=10^m,4$, 76″. **333.** Перем. типа δ Щита, ампл. $0^m,06$, $P=0^d,135$. **334.** Физ. сп. 9^m, 7″. **335.** Опт. сп. $11^m,5$, 44″. **336.** $\Delta m=7^m,7$, 100″. **337.** Физ. дв., $\Delta m=1^m,0$, 12″. **338.** Сп., $\Delta m=7^m,3$, 26″. **339.** Физ. дв., $\Delta m=0^m,5$, $a=0'',26$. **340.** Физ. сп., $\Delta m=4^m,2$, $a=0'',96$; еще сп. $12^m,3$, 93″, общ. μ. **341.** Сп. 10^m, 15″, общ. μ. **342.** Сп., $\Delta m=7^m,8$, 209″. **343.** Сп. $9^m,2$, 36″, общ. μ. **344.** Сп. $7^m,8$, 14″; А — перем. типа β СМа, ампл. $0^m,05$, $P=0^d,190$. **345.** Опт. сп. $10^m,8$, 36″. **346.** Сп. 11^m, 82″, общ. μ; опт. сп., $\Delta m=6^m,0$, 144″. **347.** Сп. $6^m,1$, $a=4'',2$; сп. С $6^m,2$, 217″. **348.** Сп., $\Delta m=7^m,0$, 20″. **349.** Сп., $\Delta m=8^m,3$, 20″, А — полупр. пер. с ампл. $1^m,5$ и периодами 750^d и 4675^d. **350.** Сп., $\Delta m=0^m,5$, $a=0'',22$; опт. сп. $10^m,8$, 13″. **351.** Алголь с $P=1^d,023$, ампл. $0^m,17$; сп. $12^m,5$, 119″. **352.** Физ. сп., $\Delta m=1^m,9$, 7″,6. **353.** Сп. $11^m,5$, 29″. **354.** Опт. сп., $\Delta m=6^m,0$, 29″. **355.** Перем. типа δ Sct, ампл. $0^m,05$, $P=0^d,042$:. **356.** Опт. сп. 12^m, 50″. **357.** Физ. дв.: $4^m,31$ и $4^m,51$, $a=2'',6$. **358.** Опт. сп. 8^m, 61″. **359.** Сп., $\Delta m=3^m,4$, 30″, общ. μ. **360.** Опт. сп. $\Delta m=8^m,0$, 36″. **361.** Сп., $\Delta m=8^m,0$, 64″. **362.** Сп., $\Delta m=7^m,1$, 91″. **363.** Физ. сп. $11^m,7$, 12″. **364.** Физ. сп. $8^m,5$, 4″,5. **365.** Физ. сп. $8^m,5$, 4″,5. **366.** Затм., ампл. $0^m,13$, $P=1^d,60$. **367.** Медл. непр. перем., ампл. $0^m,5$; сп., $\Delta m=7^m,0$, 264″. **368.** Физ. дв., $\Delta m=2^m,5$, 3″. **369.** Физ. сп. $7^m,0$, $a=0'',84$. **370.** Дв.: $4^m,5$ и $9^m,8$, 50″, общ. μ; В — дв.: $10^m,7$ и $10^m,8$ на расст. 0″,7. **371.** Полуправ. пер. со средн. $P=55^d,82$, ампл. $0^m,4$. **372.** Опт. сп. 11^m, 47″. **373.** Сп. 11^m, 5″,7, общ. μ. **374.** Полуправ. перем. $4^m,1$—$6^m,2$.

Таблица 29а

Список двойных звезд севернее $\delta = -45°$, имеющих суммарный блеск до $5^m,94$, ρ от 2″ до 40″, спутник ярче $\sim 9^m$ при $\rho < 20''$ и не слабее $9^m,5$ при $\rho > 20''$

E — эпоха ρ и θ (в скобках даны ρ и θ по эфемериде)

Название звезды		ADS	α_{1950}	δ_{1950}	m_A	m_B	ρ	θ	E	Примечание
35	Psc	191	$00^h12^m,4$	+08° 33′	6,1	7,7	11″,8	148°	1926	1
π	And	513	00 34,2	+33 26	4,4	8,9	36,0	173	1953	2
55	Psc	558	00 37,3	+21 04	5,7	8,4	6,6	193	1920	
η	Cas	671	00 45,9	+57 34	3,7	7,4	(11,7	304	1975)	3
65	Psc	683	00 47,2	+27 26	6,3	6,3	4,4	296	1954	
	And	824	00 57,2	+44 27	6,0	6,8	8,0	193	1948	4
ψ′	Psc	899	01 03,0	+21 12	5,6	5,8	30,0	160	1959	
ζ	Psc	996	01 11,1	+07 19	5,6	6,4	23,1	63	1959	5
χ¹	Cet	1339	01 39,1	−11 34	6,1	7,4	2,1	90	1959	
ε	Scl	1394	01 43,3	−25 18	5,5	8,3	4,7	34	1959	
1	Ari	1457	01 47,4	+22 02	6,2	7,4	2,8	166	1959	
α	UMi	1477	01 48,8	+88 02	2,0	8,9	18,4	218	1955	6
$\gamma^{1,2}$	Ari	1507	01 50,8	+19 03	4,8	4,8	7,8	360	1959	
λ	Ari	1563	01 55,1	+23 21	4,8	7,5	37,2	46	1954	
α	Psc	1615	01 59,4	+02 31	4,3	5,3	(1,8	285	1975)	7
$\gamma^{1,2}$	And	1630	02 00,8	+42 05	2,3	5,0	9,8	64	1955	8
59	And	1683	02 07,8	+38 48	6,0	6,7	16,7	34	1949	
ι	Tri	1697	02 09,5	+30 04	5,2	6,6	3,9	72	1955	9
66	Cet	1703	02 10,2	−02 38	5,8	7,6	16,3	232	1925	
ι	Cas	1860	02 24,9	+67 11	4,7	7,5	(2,3	36	1975)	10
33	Ari	2033	02 37,8	+26 51	5,5	8,4	28,8	1	1925	11
γ	Cet	2080	02 40,7	+03 02	3,6	7,4	2,8	294	1955	
π	Ari	2151	02 46,5	+17 15	5,3	8,8	3,2	120	1953	12
η	Per	2157	02 47,0	+55 41	3,9	7,9	28,3	300	1932	
	Cep	2294	02 59,3	+79 13	5,8	9,0	4,8	231	1925	
	Per	2270	02 57,3	+52 09	5,4	6,6	12,1	85	1954	
δ	Eri		02 56,4	−40 30	3,4	4,5	8,2	88	1952	13
	Tau	2582	03 28,3	+27 24	6,4	6,9	11,0	270	1923	
f	Eri		03 46,7	−37 46	5,4	5,9	7,9	212	1957	
w	Eri	2850	03 51,8	−03 08	5,0	6,3	6,8	347	1955	
ε	Per	2888	03 54,5	+39 52	3,0	8,2	8,8	10	1938	
	Tau	2999	04 04,9	+15 02	5,9	8,8	3,8	221	1922	
39	Eri	3079	04 12,0	−10 23	5,1	8,9	6,4	147	1921	
χ	Tau	3161	04 19,5	+25 31	5,4	8,2	19,9	25	1924	
1	Cam	3274	04 28,1	+53 48	5,9	6,9	10,2	308	1924	
ω	Aur	3572	04 55,8	+37 49	5,0	8,0	5,8	355	1925	
	Ori	3579	04 56,2	+14 28	6,0	8,0	35,4	305	1924	
γ	Cae		05 02,6	−35 33	4,6	8,5	3,1	311	1921	
103	Tau	3709	05 05,1	+24 12	5,5	9,0	35,3	197	1924	14
ρ	Ori	3797	05 10,7	+02 48	4,6	8,6	7,0	63	1921	
ϰ	Lep	3800	05 10,9	−13 00	4,5	7,5	2,6	258	1940	
14	Aur	3824	05 12,1	+32 38	5,1	8,1	14,5	226	1922	15
β	Ori	3823	05 12,1	−08 15	0,3	7,0	9,2	206	1941	16
	Lep	3910	05 17,1	−18 34	6,2	6,4	39,2	18	1918	
23	Ori	3962	05 20,2	+03 30	5,0	7,1	31,9	29	1955	
	Lep	3954	05 19,7	−24 49	5,4	6,7	3,1	98	1944	
	Ori	3978	05 20,9	−08 28	5,8	8,5	6,0	146	1926	
	Lep	4034	05 23,9	−19 44	5,8	8,6	27,1	318	1918	

Название звезды	ADS	α_{1950}	δ_{1950}	m_A	m_B	ρ	θ	E	Примечание
118 Tau	4068	05h26m,2	+25° 07′	5,9	6,6	5″,1	204°	1926	
Tau	4131	05 29,3	+17 01	6,0	6,5	9,8	141	1922	11
λ Ori	4179	05 32,4	+09 54	3,7	5,6	4,4	42	1957	
Ori	4182	05 32,6	−06 02	4,7	5,6	35,7	223	1924	
θ¹ Ori	4186	05 32,8	−05 25	5,4	6,8	13,6	60	1940	17
ι Ori	4193	05 33,0	−05 56	2,8	7,0	11,3	141	1932	18
26 Aur	4229	05 35,4	+30 28	5,5	8,5	12,5	268	1926	19
ζ Ori	4263	05 38,2	−01 58	2,0	4,2	2,5	164	1957	
θ Aur	4566	05 56,3	+37 13	2,7	7,2	3,2	319	1955	
Ori	4749	06 06,4	+02 31	5,6	7,0	29,4	114	1922	
41 Aur	4773	06 07,8	+48 43	6,1	6,8	7,7	356	1949	
ε Mon	5012	06 21,1	+04 37	4,5	6,6	12,7	28	1955	
β Mon	5107	06 26,4	−07 06	4,7	5,2	7,3	132	1955	20
ν¹ CMa	5253	06 34,2	−18 37	5,8	8,5	17,5	262	1926	
S Mon	5322	06 38,2	+09 57	4,7	8,0	2,9	209	1941	
CMa		06 48,5	−31 39	5,6	8,2	43	65	1919	
38 Gem	5559	06 51,8	+13 15	4,7	7,6	(7,0	148	1975)	21
μ CMa	5605	06 53,8	−13 59	5,2	8,5	3,0	339	1926	
ε CMa	5654	06 56,7	−28 54	1,6	8,1	7,4	160	1924	
Pup		07 02,4	−43 32	5,8	6,9	20,6	122	1913	
Pup		07 03,7	−34 42	6,3	7,7	2,6	67	1937	
CMa	5951	07 14,5	−23 14	4,8	6,8	27,4	58	1926	
δ Gem	5983	07 17,1	+22 05	3,2	8,2	(6,1	220	1975)	
19 Lyn	6012	07 18,8	+55 23	5,6	6,5	14,7	315	1949	22
CMa	6104	07 25,5	−11 27	5,9	8,6	20,2	313	1908	23
Pup	6126	07 27,1	−14 53	6,2	7,6	2,1	357	1950	
σ Pup		07 27,6	−43 12	3,3	8,5	22,4	74	1922	24
α Gem	6175	07 31,4	+32 00	2,0	2,9	(2,0	112	1975)	25
Pup	6190	07 32,2	−23 22	5,9	6,0	9,4	113	1944	
ϰ Pup	6255	07 36,8	−26 41	4,5	4,7	9,9	318	1951	
2 Pup	6348	07 43,2	−14 34	6,1	6,8	16,9	340	1923	
5 Pup	6381	07 45,6	−12 04	5,5	7,1	2,1	3	1950	
Pup		07 50,4	−34 35	5,0	9,0	3,0	280	1927	
Mon	6588	08 04,0	−09 06	5,9	7,6	30,9	326	1923	
ζ Cnc	6650	08 09,3	+17 48	5,6	5,9	(1,0	55	1975)	26
φ² Cnc	6815	08 23,8	+27 06	6,3	6,3	5,0	216	1957	
Vel		08 27,8	−44 33	5,2	6,7	5,1	350	1915	11
Cnc	6886	08 33,2	+06 48	6,0	7,2	10,4	23	1949	27
Vel		08 38,5	−40 05	5,2	8,8	4,1	62	1926	
ι¹ Cnc	6988	08 43,7	+28 57	4,2	6,6	30,5	307	1958	28
ε Hya	6993	08 44,1	−06 36	4,0	6,0	(2,9	275	1970)	29
66 Cnc	7137	08 58,3	+32 27	6,0	8,1	4,5	137	1960	
Vel		09 10,7	−43 24	6,2	6,9	2,6	283	1937	
38 Lyn	7292	09 15,8	+37 01	4,0	6,0	2,8	229	1960	
23 UMa	7402	09 27,6	+63 17	3,8	9,3	22,8	271	1924	30
Hya	7627	10 01,6	−17 48	5,8	8,0	21,0	274	1926	
γ Leo	7724	10 17,2	+20 06	2,6	3,9	(4,4	123	1970)	31
s Vel		10 29,8	−44 49	6,2	6,5	13,4	218	1941	
TX Leo	7837	10 32,4	+08 55	5,8	8,5	2,2	157	1960	32
54 Leo	7979	10 52,9	+25 01	4,5	6,4	6,5	110	1960	33
57 UMa	8175	11 26,4	+39 36	5,4	8,4	5,4	359	1958	
Crt	8183	11 27,2	−24 11	5,8	8,8	8,2	80	1954	

Название звезды	ADS	α_{1950}	δ_{1950}	m_A	m_B	ρ	θ	E	Примечание
17 Crt	8 202	$11^h29^m,8$	−28° 59′	5,8	5,9	9,1	210°	1926	
90 Leo	8 220	11 32,1	+17 04	6,0	7,3	3,4	209	1960	11
2 Com	8 406	12 01,6	+21 44	6,0	7,5	3,7	237	1960	
2 CVn	8 489	12 13,6	+40 56	5,9	8,2	12	260	1960	
δ Crv	8 572	12 27,3	−16 14	3,1	8,4	24,2	212	1926	
24 Com	8 600	12 32,6	+18 39	5,2	6,7	20	271	1960	11
Crv	8 627	12 38,7	−12 44	6,0	6,1	5,4	129	1960	34
γ Vir	8 630	12 39,1	−01 11	3,6	3,7	(4,2	300	1975)	35
Cam	8 682	12 48,6	+83 41	5,3	5,8	21,6	326	1960	
α CVn	8 706	12 53,7	+38 35	2,9	5,6	20	228	1960	34
UMa	8 710	12 54,1	+54 22	6,0	7,9	3,5	283	1960	11
θ Vir	8 801	13 07,4	−05 16	4,4	9,0	7,1	343	1960	36
ζ UMa	8 891	13 21,9	+55 11	2,4	4,0	14,8	151	1960	37
Hya	8 966	13 34,0	−26 14	5,5	7,0	10,9	192	1938	
84 Vir	9 000	13 40,5	+03 47	5,7	8,0	3,0	229	1960	
k Cen		13 48,9	−32 45	4,7	6,2	7,9	108	1954	
h Cen		13 50,3	−31 41	4,8	8,5	15,1	186	1919	38
$\varkappa^2$ Boo	9 173	14 11,7	+52 01	4,5	6,7	13	236	1960	
ι Boo	9 198	14 14,4	+51 36	4,8	8,3	38,4	33	1922	
Lup		14 17,0	−42 50	5,8	8,7	3,8	301	1925	
Boo	9 247	14 20,9	+08 40	5,1	6,6	6,4	192	1960	11
π Boo	9 338	14 38,4	+16 38	4,9	5,8	5,6	108	1960	11
ε Boo	9 372	14 42,8	+27 17	2,7	5,1	3,0	338	1960	11
54 Hya	9 375	14 43,1	−25 14	5,2	7,1	8,8	128	1915	
39 Boo	9 406	14 48,0	+48 55	6,1	6,8	3,0	45	1960	39
ξ Boo	9 413	14 49,1	+19 19	4,8	6,9	(7,2	336	1975)	40
Lib	9 446	14 54,5	−21 11	5,8	8,1	19,9	298	1926	
d Lup		15 32,4	−44 48	5,0	7,0	2,4	1	1925	
δ Ser	9 701	15 32,4	+10 42	4,2	5,2	3,8	177	1960	
2 Sco	9 823	15 50,6	−25 11	4,8	7,3	2,5	272	1933	
ξ^2 Lup		15 53,7	−33 49	5,4	5,7	10,6	49	1919	
η Lup		15 56,8	−38 15	3,4	7,2	15,0	20	1934	
ϰ Her	9 933	16 05,8	+17 11	5,3	6,5	30	12	1960	
12 Sco	9 953	16 09,2	−28 17	5,8	7,8	3,9	75	1938	
σ CrB	9 979	16 12,8	+33 59	5,7	6,7	(6,6	232	1975)	41
Sco		16 16,4	−30 47	5,4	6,9	23,3	319	1897	
Sco	10 035	16 21,5	−29 35	5,9	6,6	6,2	352	1919	
ρ Oph	10 049	16 22,6	−23 20	5,2	5,9	3,5	347	1943	
η Dra	10 058	16 23,3	+61 38	2,9	8,3	5,2	141	1960	
Her	10 105	16 30,3	+45 42	5,6	8,8	16,4	196	1924	
17 Dra	10 129	16 35,0	+53 01	5,6	6,6	3,3	108	1960	42
μ Dra	10 345	17 04,3	+54 32	5,8	5,8	(1,9	50	1975)	43
36 Oph	10 417	17 12,3	−26 30	6,0	6,6	(4,6	157	1975)	44
α Her	10 418	17 12,4	+14 27	3,5	5,4	4,5	107	1960	45
δ Her	10 424	17 13,0	+24 54	3,1	8,3	8,9	236	1958	11
ο Oph	10 442	17 15,0	−24 14	5,4	6,9	10,8	355	1925	
ρ Her	10 526	17 22,0	+37 11	4,5	5,5	4,0	316	1960	
ψ Dra	10 759	17 42,8	+72 11	4,9	6,1	30	15	1960	
Sgr		17 55,9	−30 15	5,3	7,0	5,5	106	1919	
95 Her	10 993	17 59,4	+21 36	5,1	5,2	6,2	258	1960	
70 Oph	11 046	18 02,9	+02 32	4,2	5,9	(1,9	9	1975)	
Sgr		18 06,9	−30 44	5,6	7,9	3,9	352	1920	
Dra	11 061	18 03,8	+80 00	5,8	6,2	19,2	232	1960	46

Продолжение табл. 29а

Название звезды		ADS	α_{1950}	δ_{1950}	m_A	m_B	ρ	θ	E	Примечание
100	Her	11 089	$18^h05^m,8$	+26° 05′	5,9	6,0	14	183°	1960	
59	Ser	11 353	18 24,6	+00 10	5,4	7,7	3,8	318	1960	47
39	Dra	11 336	18 23,2	+58 46	4,9	7,9	3,8	353	1960	11
ϰ	CrA		18 29,9	−38 46	6,0	6,6	21,6	359	1913	
	Dra		18 32,8	+52 19	6,2	6,2	25,0	270	1975	48
	Ser	11 640	18 43,0	+05 27	6,3	6,7	2,5	117	1960	11
ε_1	Lyr	11 635 AB	18 42,7	+39 37	5,1	6,0	(2,7	356	1975)	49
ε_2	Lyr	11 635 CD	18 42,7	+39 37	5,1	5,4	(2,3	86	1975)	50
5	Aql	11 667	18 43,9	−01 01	5,8	7,5	13	121	1960	
o	Dra	11 779	18 50,5	+59 20	4,7	7,9	34,2	326	1949	51
θ	Ser	11 853	18 53,8	+04 08	4,6	5,1	22	104	1960	
15	Aql	12 007	19 02,3	−04 06	5,5	7,2	38,1	209	1950	
γ	CrA	I	19 03,0	−37 08	5,0	5,1	2,7	54	1943	53
	Sgr	12 039	19 04,0	−16 18	5,9	9,0	6,0	359	1925	
η	Lyr	12 197	19 12,0	+39 03	4,5	9,0	28,2	82	1925	
	Aql	12 248	19 14,2	+14 27	5,5	9,3	8,3	346	1924	
β	Sgr		19 19,0	−44 33	4,2	7,3	18,4	77	1914	
	Sgr	12 506	19 26,8	−27 05	5,5	8,8	7,5	142	1913	
β	Cyg	12 540	19 28,7	+27 51	3,2	5,1	35	54	1960	
16	Cyg	12 815	19 40,7	+50 25	6,3	6,4	38	135	1960	
δ	Cyg	12 880	19 43,4	+45 00	3,0	6,5	(2,2	235	1975)	53
ζ	Sge	12 973	19 46,8	+19 01	5,6	5,8	8,5	311	1925	54
ε	Dra	13 007	19 48,3	+70 08	4,0	7,6	3,1	13	1960	
57	Aql	13 087	19 51,9	−08 21	5,8	6,5	36	170	1960	
ψ	Cyg	13 148	19 54,4	+52 18	4,9	7,4	3,2	178	1960	
ϰ	Cep	13 524	20 10,7	+77 34	4,4	8,4	7,4	122	1960	
	Cyg	13 672	20 16,4	+40 35	6,0	8,2	2,8	245	1960	
	Cyg	13 692	20 17,2	+55 14	6,0	7,4	3,5	338	1960	
π	Cap	13 860	20 24,5	−18 23	5,2	8,5	3,2	146	1935	
o	Cap	13 902	20 27,0	−18 45	6,1	6,6	21,9	238	1923	
49	Cyg	14 158	20 39,0	+32 08	5,9	8,0	2,7	47	1960	
γ	Del	14 279	20 44,4	+15 57	4,3	5,1	10	268	1960	
ε	Equ	14 499	20 56,6	+04 06	5,7	6,2	10,9	72	1924	55
59	Cyg	14 526	20 58,1	+47 20	4,9	9,3	20,3	353	1922	
12	Aqr	14 592	21 01,4	−06 01	5,9	7,3	2,3	192	1960	
61	Cyg	14 636	21 04,4	+38 28	5,6	6,3	(28,7	145	1975)	56
	Cyg	14 682	21 06,5	+30 00	5,7	7,7	3,5	306	1960	57
1	Peg	14 909	21 19,8	+19 35	4,2	9,3	36,3	312	1922	
	Mic		21 23,8	−42 46	5,7	8,5	3,1	148	1939	
β	Cep	15 032	21 28,0	+70 20	3 v	8,0	13	250	1960	58
	Cep	15 184	21 37,4	+57 16	5,6	8,0	12	121	1960	59
	Cep	15 405	21 50,3	+55 34	5,5	7,3	19,8	197	1925	60
ξ	Cep	15 600	22 02,2	+64 23	4,6	6,5	7,5	277	1960	
41	Aqr	15 753	22 11,5	−21 19	5,7	7,2	5,0	116	1926	
53	Aqr	15 934	22 23,8	−17 00	5,7	6,4	5,8	313	1924	
β	PsA		22 28,7	−32 36	4,3	7,9	30	172	1952	
8	Lac	16 095	22 33,6	+39 23	5,8	6,5	22	186	1960	61
γ	PsA		22 49,8	−33 08	4,5	8,1	4,3	264	1927	
94	Aqr		23 16,5	−13 44	5,3	7,5	13,3	348	1922	
o	Cep	16 666	23 16,4	+67 50	5,0	7,3	3,0	211	1960	62
107	Aqr	16 979	23 43,4	−18 57	5,7	7,0	6,5	136	1932	
σ	Cas	17 140	23 56,4	+55 29	5,1	7,2	3,0	326	1960	

Примечания к табл. 29а: 1. А — сп. дв. $0^d,84$. 2. А — сп. дв. $143^d,6$. 3. $a=12'',5$; $e=0,50$; $P=526^a$. 4. Обе — сп. дв. 5. Сп. $6^m,49$,F6—сп. дв. $9^d,08$. 6. Полярная. Цефеида, ампл. $0^m,14$; $3^d,97$; сп. дв. с двумя периодами: $3^d,97$ и $29^a,6$ (невидимый спутник). 7. $a=2'',65$; $P=720^a$; обе — сп. дв. 8. $B=\gamma^2$=дв.: $\Delta m=0^m,8$; $a=0'',32$; $e=0,9$3!; $P=61^a,0$. 9. Обе — сп. дв. $14^d,732$ и $2^d,236$. 10. $a=2'',83$; $P=900^a$; сп. дв. 11. Сп. дв. 12. Сп. дв. $3^d,85$. 13. Сп. дв. 14. Сп. дв. $58^d,21$. 15. Сп. дв. $3^d,789$. 16. Ригель. В=дв.: $\Delta m=0^m,0$; $0''2$; 130°, 1925; А=сп. дв. $9^d,86$. 17. Знаменитая трапеция Ориона — шесть компонент: $5^m,36$; $6^m,84$; $6^m,85$; $10^m,8$; $11^m,3$; $16^m,0$ на расстоянии менее 22″. 18. А=O9 — сп. дв. $29^d,135$; В=КЗП I 100 603. 19. А — дв.: $a=0'',1$; $P=53^a,2$. 20. А=дв.: $5^m,22$ и $5^m,60$, $2'',8$; 108°, 1939. 21. $a=9'',55$; $P=3190^a$. 22. А=сп. дв. $2^d,26$. 23. Опт. сп. у А : $9^m,8$; $23'',4$; 157°, 1878. 24. А=M0, сп. дв. $257^d,8$. 25. Кастор. $a=6''29$; $e=0,33$; $P=420^a,1$; обе — сп. дв.: сп. C$9^m,0$ на 73. 26. $\zeta^{1,2}$: $a=7'',28$; $e=0,25$; $P=1137^a$; ζ^1=дв.: $5^m,70$ и $6^m,04$; $a=0'',95$; $e=0,31$; $P=59^a,60$; ζ^2=дв.: $6^m,26$ и $7^m,8$; $a=0'',24$; $e=0,22$; $P=17^a,64$. 27. А=сп. дв. $14^d,30$. 28. А=КЗП I 101 000; В — перем.? 29. $a=9'',08$; $e=0,63$; $P=2044^a,13$; А — дв.: $\Delta m=0^m,3$; $a=0'',21$; $e=0,61$; $P=15^a,04$. 30. А=КЗП I 101 051; опт. сп. 10^m, 96″. 31. $a=2'',50$; $e=0,84$, $P=618^a,56$. 32. Затм. типа Алголя, ампл. $0^m,1$; $P=2^d,4451$; сп. дв. 33. Сп. дв. 34. Обе — сп. дв. 35. $a=3'',72$; $e=0,88$; $P=171^a,85$. 36. Общее μ. 37. Мицар. А — сп. дв. $20^d,5$=КЗП I 101 381; В — сп. дв. $361^d,2$= =КЗП I 101 382. 38. Сп. дв. $6^d,93$. 39. Сп. дв. $12^d,82$. 40. $a=4'',90$; $e=0,50$; $P=149^a,95$. 41. $a=6''60$; $e=0,78$; $P=1\,000^a$; А — сп. дв. $1^d,14$. 42 Еще сп. $5^m,64$; 91″, 194°, 1924. 43. $a=7'',99$; $e=0,72$; $P=1922^a,3$. 44. $a=13'',91$; $e=0,90$; $P=548^a,7$. 45. Полуправ. перем., ампл. $1^m,0$; В — сп. дв. $51^d,6$. 46. В — сп. дв. $10^d,52$. 47. А — перем. (ампл. $0^m,3$) и сп. дв. 386^d. 48. А — дв.: $\Delta m=0^m,0$; $0'',3$; 71°, 1955. 49. $a=2'',78$; $e=0,19$; $P=1165^a,6$. Общие μ и V_r с ε^2 (расст. 208″). 50. $a=2'',95$; $e=0,49$; $P=585^a$; В=КЗП I 101 761. 51. А — сп. дв. $138^d,42$. 52. $a=2'',07$: $e=0,31$; $P=119^a,28$. 53. $a=2'',56$; $e=0,30$; $P=537^a,3$. 54. А — дв.: $\Delta m=0^m,2$; $a=0'',15$; $e=0,85$; $P=22^a,8$. 55. А — дв.: $\Delta m=0^m,3$; $a=0'',66$; $e=0,70$; $P=101^a,4$. 56. $a=24'',44$; $e=0,41$; $P=691^a,61$; В имеет невидимый сп. 57. V 389 Cyg, ампл. $0^m,2$; $P=1^d,13$; сп. дв. $3^d,31$. 58. Сп. дв. $0^d,19$. 59. А — сп. дв. $3^d,7086$. 60. А — сп. дв. $17^d,33$. 61. Еще сп.=дв.: $10^m,2$ и $14^m,5$ на расст. 28″ от А, 155°, 1925. 62. $a=2'',99$; $e=0,17$; $P=796^a,16$.

Таблица 29б

Список широких звездных пар севернее $\delta=-45°$ с ρ от 40″ до 130″, с суммарной звездной величиной ярче $6^m,0$ и спутником $9^m,5$

ADS	Название	α_{1950}	δ_{1950}	m_1	m_2	ρ	θ	E	Примечание
721	Cas	$00^h50^m,1$	+60° 51′	5,0	9,0	130″	171°	1923	1
1003	37 Cet	01 11,9	−08 11	5,2	7,8	50	331	1922	
2691	Cam	03 38,6	+59 49	6,0	8,5	55	35	1925	
3093	40 Eri	04 13,0	−07 44	4,5	9,4	83	105	1940	2
3137	φ Tau	04 17,3	+27 14	5,1	8,7	52	250	1925	
3159	Eri	04 19,4	−25 51	5,9	8,6	44	41	1926	3
3579	Ori	04 56,1	+14 28	5,8	9,0	54	89	1921	4
3588	Lep	04 56,8	−16 27	5,5	8,2	53	34	1914	5
3698	66 Eri	05 04,3	−04 43	5,2	9,2	53	10	1922	6
3954	41 Lep	05 19,7	−24 49	5,5	9,2	61,2	105	1898	7
4134	δ Ori	05 29,4	−00 20	2,5	6,9	52	0	1922	6
4188	θ² Ori	05 32,9	−05 27	5,2	6,5	52	92	1960	6
4241	σ Ori	05 36,2	−02 38	3,8	6,5	42	61	1960	8
4334	γ Lep	05 42,4	−22 28	3,8	6,4	95	351	1914	
4890	75 Ori	06 14,4	+09 58	5,3	9,0	117	159	1925	
5036	5 Lyn	06 22,5	+58 27	5,5	8,2	96	272	1924	
5425	56 Aur	06 43,1	+43 38	5,3	8,6	41	26	1925	
	CMa	06 48,5	−31 39	5,6	8,2	43	65	1919	
	h² Pup	08 12,3	−40 12	4,4	9,1	51	341	1920	6
6800	Pup	08 22,9	−23 53	5,5	9,0	42	86	1917	
7071	57 Cnc	08 51,2	+30 46	5,6	9,2	56	198	1921	9
	I Hya	09 39,0	−23 22	4,8	8,1	54	292	1904	
8347	65 UMa	11 52,5	+46 45	6,5	6,7	63	114	1960	6

ADS	Название		α_{1950}	δ_{1950}	m_1	m_2	ρ	θ	E	Примечание
8 530	12	Com	12^h20^m,0	+26° 07′	4,7	8,5	66	167°	1925	10
9 626	μ	Boo	15 22,6	+37 33	4,5	7,2	108	170	1960	11
	57	Sco	16 05,2	−38 58	6,9	7,1	44	185	1920	
9 951	ν	Sco	16 09,1	−19 20	4,3	6,5	41	337	1925	12
10 129	16—17	Dra	16 35,0	+53 01	5,2	5,6	91	194	1924	
	m	Her	16 38,2	+04 19	5,7	6,9	70	230	1932	
10 481	ν	Ser	17 18,0	−12 48	4,4	8,7	47	31	1914	
10 628	$\nu^{1,2}$	Dra	17 31,2	+55 13	5,0	5,0	62	312	1960	
10 635	53	Oph	17 32,2	+09 37	5,8	7,7	41	101	1923	
		Sgr	17 55,6	−36 51	5,8	8,2	49	260	1919	
10 966	67	Oph	17 58,1	+02 56	3,9	8,2	55	142	1925	
11 834	ζ	Lyr	18 43,1	+37 33	4,3	5,9	44	150	1924	13
12 767	54	Sgr	19 37,9	−16 25	5,4	8,9	46	42	1925	
13 278	26	Cyg	19 59,9	+49 58	5,3	9,1	42	148	1924	
13 632	α^1	Cap	20 14,9	−12 40	4,6	9,0	46	221	1924	
14 682	389	Cyg	21 06,5	+30 00	5,5*v*	9,2	58	227	1915	14
15 208	75	Cyg	21 38,2	+43 03	5,3	9,4	57,9	254	1924	15
15 987	δ	Cep	22 27,3	+58 10	~4,0*v*	7,5	41	191	1960	16
16 149		PsA	22 37,0	−28 36	6,3	6,8	86,8	160	1919	17
16 376		Lac	22 53,0	+36 05	5,6	9,4	51	243	1923	
16 633	ψ	Aqr	23 13,3	+09 22	4,5	9,1	49,4	312	1923	
16 795	AR	Cas	23 27,7	+58 16	4,7*v*	8,0	75,5	269	1922	

Примечания к табл. 29б: **1.** Спутник — тесн. дв. 0″,8. **2.** Спутник — дв. 2″. **3.** A — дв.: $\Delta m=0^m$,2, ρ=0″,8; еще сп. 11^m,7 на расст. 37″. **4.** A имеет сп. 8^m,0 на ρ=35″. **5.** A — тесная дв., $\Delta m=1^m$,5. **6.** Сп.-дв. **7.** A — дв., $\Delta m=1^m$,2, ρ=3″,2. **8.** A — дв.: $\Delta m=3^m$,4, ρ=13″; B — дв.: $\Delta m=2^m$,0, ρ=0″,2. **9.** A — дв., Δm=0″,2, ρ=1″,5. **10.** A (сп.-дв.) имеет сп. 11^m,5 на расст. 35″. **11.** B — дв. (7^m,2 и 7^m,8), ρ=2″. **12.** A и B — дв. (4^m,4 и 6^m,4, ρ=1″) и (6^m,8 и 7^m,8, ρ=2″); A — еще и сп.-дв. **13.** A имеет сп. 10^m,3, ρ=1″,7. **14.** A — пер., имеет сп. 7^m,7 на расст. 3″. **15.** A имеет сп. 10^m,5 на расст. 2″,8. **16.** A — цефеида с $P=5^d$,366. **17.** A — алголь (и сп. дв.) с $P=6^d$,07, а ампл. 0^m,13. A имеет сп. 10^m,9 на расст. 1″,2. **17.** B имеет сп. 8^m,1 на расст. 3″,2.

Таблица 30

Нахождение общей звездной величины двух близких звезд

По аргументу разности звездных величин Δm отыскивается поправка $\Delta m'$, которую надо вычесть из звездной величины более яркой звезды

Δm	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$
0^m,00	0^m,752	0^m,15	0^m,680	0^m,70	0^m,458	1^m,40	0^m,264	2^m,4	0^m,113
0,01	0,748	0,16	0,676	0,75	0,441	1,45	0,253	2,5	0,104
0,02	0,743	0,17	0,671	0,80	0,425	1,50	0,243	2,6	0,095
0,03	0,738	0,18	0,666	0,85	0,409	1,55	0,234	2,7	0,087
0,04	0,733	0,19	0,662	0,90	0,393	1,60	0,224	2,8	0,079
0,05	0,728	0,20	0,657	0,95	0,378	1,65	0,215	2,9	0,072
0,06	0,723	0,25	0,635	1,00	0,364	1,70	0,206	3,0	0,066
0,07	0,718	0,30	0,613	1,00	0,364	1,75	0,197	3,2	0,056
0,08	0,713	0,35	0,592	1,05	0,350	1,80	0,189	3,4	0,046
0,09	0,708	0,40	0,571	1,10	0,336	1,85	0,181	3,6	0,039
0,10	0,704	0,45	0,551	1,15	0,323	1,90	0.174	3,8	0,032
0,11	0,699	0,50	0,531	1,20	0,311	1,95	0,167	4,0	0,027
0,12	0,694	0,55	0,512	1,25	0,299	2,00	0,160	4,5	0,017
0,13	0,690	0,60	0,493	1,30	0,287	2,1	0,147	5,0	0,011
0,14	0,685	0,65	0,475	1,35	0,275	2,2	0,134	5,5	0,006
0,15	0,680	0,70	0,458	1,40	0,264	2,3	0,123	6,0	0,004

Пример: общая звездная величина двух звезд 3^m,45 и 4^m,13 равна 3^m,45 − 0^m,46 = 2^m,99.

Таблица 31а

Затменные переменные звезды (E) с $\delta > -30°$ и ампл $> 0^m,4$

(A — алголи, B — типа β Лиры, *W* — типа *W* Б. Медведицы, *m* II — блеск во втором минимуме, *v* — визуальные величины, *p* — фотографические, *V* — в системе *V*, *B* — в системе *B*; К 70 — карта в АК на 1970 год, С IV — в 4-м издании «Справочника любителя астрономии» П. Г. Куликовского, 1971)

Название звезды и тип	Карта	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина	Спектр	Эпоха J. D. 24...	Период	*m* II
TW And A		$0^h 00^m 44^s$	+32° 34′,0	$8^m,8-11^m,1$ *v*	dF0 — G6	20051,620	$4^d,122752$	$9^m,0$ [1])
TV Cas A	C IV	0 16 36	+58 51,7	7,3—8,4 *p*	A0	20117,7446	1,81261036	7,37
RT Scl B		0 33 59	−25 57,0	9,8—10,6 *p*	A5 + F3	23736,5114	0,51156702	10,1
YZ Cas A	К 73	0 42 18	+74 42,9	5,6—6,0 *p*	A3	28733,4218	4,467224	5,67
U Cep A	C IV	1 57 46	+81 36,4	6,63—9,79 *p*	B8 V + G8 III	38291,502	2,493041	6,70 [1])
IZ Per A		1 28 56	+53 45,7	7,8—9,0 *p*	B8	25571,360	3,687661	8,3
MN Cas W		1 38 49	+54 42,4	8,8—9,4 *p*	B9	36164,508	1,916929	9,4 [2])
TW Cet W		1 46 32	−21 08,2	9,6—10,42 *p*	G5 + G5	30656,662	0,31685260	10,3 [1])
RR Ari A		1 53 03	+23 20,0	6,42—6,84 *p*	K0 III	36493,2	47,9?	6,75
X Tri A		1 57 43	+27 38,8	8,9—11,5 *p*	A3 + G3	37572,1994	0,9715382	9,1 [1])
BX And B		2 05 59	+40 33,5	8,9—9,57 *v*	G0	36528,7777	0,61011534	9,15
RX Ari A		2 12 31	+22 20,9	9,4—9,8 *v*	F5	38398,5697	1,029626	9,5
DM Per A		2 22 26	+55 52,7	7,71—8,48 *p*	B6 V	33251,6930	2,727728	7,78
DO Cas B		2 37 34	+60 20,4	8,6—9,25 *p*	A2 II	33926,45729	0,68466595	8,82
TW Cas A		2 41 44	+65 31,0	8,3—8,9 *v*	B9 + A0	19823,647	1,4283256	8,37 [1])
RY Per A	C IV	2 42 19	+47 56,1	8,5—10,7 *p*	B8 + F8	27070,708	6,8635663	8,52
RZ Cas A	К 69	2 44 23	+69 25,6	6,38—7,89 *p*	A2 V	37143,9886	1,1952472	6,43 [1])
RX Cas B		3 03 16	+67 23,2	8,6—9,5 *v*	gG3 + gA5e	24006,186	32,3203	[4])
β Per A		3 04 55	+40 45,8	2,1—3,4 *V*	B7 V + G8 III	39479,647	2,86739	2,19 [1])
TV Cet A		3 12 01	+02 34,1	8,7—9,1 *v*	F0	26692,492	9,1032	9,0
AS Eri A		3 29 55	−03 28,9	8,48—9,21 *B*	A0	28538,066	2,664152	8,53
BU Eri A		3 47 08	−21 01,7	8,5—9 *p*	A3	32244,33	—	—
BV Eri B?		3 47 08	−10 40,5	8,6—9,0 *p*	F2	31180,49	—	—
λ Tau A		3 57 54	+12 21,1	3,5—4,00 *p*	B3 V + A4 IV	35089,204	3,952955	5,39 [5])
RW Tau A	C IV	4 00 49	+27 59,4	8,03—12,52 *B*	B8 V + K0 IV	17198,410	2,7688463	[6])

YY Eri W		04 09 47	−10 35,7	8,8−9,50 *B*	G5 + G5	33617,5198	0,321496212	9,42 [1])
BM Eri A		04 11 07	−10 30,8	8,5−9,3 *p*	gM6	31140,	> 20 000	
HU Tau A	K 69	04 35 19	+20 35,1	6,0−6,8 *v*	B9	25641,285	2,056297	6,2
RZ Eri A		04 41 24	−10 46,5	8,44−10,1 *p*	A5 + G8	23854,33	39,2826	8,48
ε Aur A		4 58 22	+43 45,1	3,50−4,54 *B*	F0 Ia	25735,7	9891,5	[7])
ζ Aur A		4 58 58	+41 00,3	5,00−5,54 *B*	K4 Ia + B7	35470,025	972,176	
BF Aur B		5 01 33	+41 13,3	8,5−9,2 *p*	B5 V	34455,3933	1,5832182	9,2
TT Aur B		5 06 15	+39 31,4	8,3−9,2 *p*	B4 + B4	21242,2558	1,3327333	8,7
SX Aur B		5 08 10	+42 06,3	8,2−8,9 *p*	B3 V + B3 V	25145,4588	1,2100772	8,6
CD Tau A	K 73	05 14 34	+20 04,8	7,0−7,6 *p*	F2 + F2	26793,353	3,43515	7,9
EO Aur A		5 14 58	+36 34,8	7,5−8,02 *B*	B3 + B8	21190,7479	4,06563378	7,7
AR Aur A		5 15 01	+33 42,9	5,82−6,49 *p*	B9 V + B9 V	26742,434	4,13466057	6,37
LY Aur B		5 26 22	+35 20,2	6,68−7,35 *V*	O9,5 III	39061,48	4,0026	7,23
VV Ori B		05 30 59	−01 11,4	5,14−5,51 *p*	B1 V	20095,2194	1,485387867	5,31
BM Ori A		05 32 49	−05 25,0	8,0−8,7 *v*	B3 V	22717,28	6,47055	
ET Tau A		05 34 33	+27 14,6	9,1−10,1 *p*	B8	29362,476	5,996879	9,3
DN Ori A		05 57 43	+10 13,0	9,8−10,9 *p*	A2e + gF5	28497,792	12,966258	9,9
RR Lyn A		06 22 13	+56 18,8	5,64−6,03 *V*	A5m	38046,8402	9,945070	5,90
WW Aur A	K 69	06 29 12	+32 29,5	5,7−6,43 *p*	A7 V + A7 V	32945,53930	2,52501922	6,28 [3])
TZ CMa A		06 39 37	−19 37,5	9,8−10,5 *v*	A0	27124,871	1,911446	
AU Mon A		06 52 22	−01 18,7	8,29−9,2 *v*	B5 + F0	26743,12	11,1130	8,4
R CMa A	K 73	07 17 12	−16 18,0	6,05−6,66 *B*	A9	35515,3606	1,1359386	6,09 [1])
CW CMa B		07 19 47	−23 41,8	8,7−9,4 *p*	B9	28095,642	1,0589826	8,8
RY Gem A		07 24 33	+15 45,8	8,5−11,3 *p*	A2 Ve + K2	18015,324	9,30090	
UX Mon A		07 56 50	−07 22,1	8,0−8,94 *v*	A6 + G2 IV	33328,849	5,90450	8,24 [9])
YY CMi B		08 04 03	+02 24,5	8,5−9,1 *v*	F5	28023,147	1,0940197	8,9
XZ Pup A		08 11 22	−23 48,1	8,0−10,7 *p*	A0	25850,943	2,192383	
S Cnc A		08 41 05	+19 12,9	9,45−11,1 *p*	B9 V + G8 IV	29776,770	9,484524	
TT Pyx A		08 46 21	−25 58,6	8,8−9,4 *p*	B9	25622,57	1,515769	[10])
S Ant W		09 30 07	−28 24,4	6,7−7,22 *B*	A8	35139,929	0,648345	7,16 [1])
W UMa W		09 40 16	+56 10,9	8,3−9,06 *p*	dF8 + F8	38792,7120	0,33364667	8,95 [1])
UV Leo A	C IV	10 35 41	+14 31,6	9,50−10,18 *B*	G0 + G2	38440,7275	0,6000855	10,10 [1])
TX UMa A	C IV	10 42 24	+45 49,8	7,06−8,76 *V*	B8 + F2	39193,310	3,063243	7,13 [1])
AM Leo W		10 59 35	+10 10,0	8,2−8,65 *v*	F8	35593,7168	0,36579912	
TT Hya A		11 10 46	−26 11,6	7,5−9,5 *p*	A3e + dG6	24615,388	6,9534124	
RV Crt B		11 16 46	−19 33,4	9,2:−9,7:	F8	25681,425	1,170492	

Название звезды и тип	Карта	α_{1950}	$\delta_{19..}$	Звездная величина	Спектр	Эпоха J. D. 24...	Период	*m* II
AG Vir B		$11^h 58^m 30^s$	+13° 17′,2	8^m,77—9^m,36 *p*	A2 + A2	35561,2941	0^d,64264787	9^m,22 [1])
UY Vir A		12 59 14	—19 30,3	8,5—9,2 *p*	A7 V	30020,667	1,994555051	8,7
RS CVn A	C IV	13 08 18	+36 12,0	8,4—9,92 *p*	F4 IV — K0 IV	25249,028	4,797871	8,55 [11])
SX Hya A		13 41 50	—26 31,7	8,9—11,9 *p*	A3 + K5	27659,223	2,895697	
ZZ Boo A		13 53 52	+26 09,8	7,0—7,8 *p*	F0 + F0	30868,650	4,991749	7,7
δ Lib A		14 58 17	—08 19,3	4,91—5,96 *B*	A1s	22852,3598	2,32735297	4,98
i Boo W	K 73	15 02 08	+47 50,9	6,5—7,10 *v*	dG1 + dG2	37362,6179	0,267814191	6,39 [1])
U CrB A	C IV	15 16 09	+31 49,7	7,04—8,35 *p*	B5 — A2?	16747,964	3,45220416	7,07 [1])
TW Dra A		15 33 07	+64 04,4	8,2—10,5 *p*	A5 + K0 III	33888,452	2,806870	8,3 [12])
W UMi A	C IV	16 21 12	+86 19,4	8,7—9,8 *p*	A3	33457,761	1,7011576	8,8
WW Dra A		16 38 21	+60 47,8	8,29—9,49 *V*	sgG2 + sgK0	28020,3693	4,629583	8,9 [13])
V502 Oph W		16 38 48	+00 36,1	8,4—8,98 *v*	G2 V + F9 V	37436,462	0,453396	8,86 [1])
V1010 Oph B	K 69	16 46 36	—15 34,9	6,2—7,0 *p*	A3	25827,455	0,661436	6,4
A1 Dra A		16 55 09	+52 46,5	7,2—8,2 *p*	B9	39057,412	1,19881359	7,4
AK Her W	C IV	17 11 43	+16 24,5	8,83—9,32 *B*	F2 + F6	36757,6601	0,42152502	9,20 [1])
U Oph A		17 13 59	+01 15,9	5,88—6,58 *V*	B4 + B5	08279,641	1,6773460	6,48 [1])
u Her B		17 15 29	+33 09,2	4,6—5,28 *p*	B3 III + B5 III	05830,9030	2,0510270	4,86
TX Her A	C IV	17 17 02	+41 56,3	8,33—9,08 *p*	A4 + A4	30325,202	2,059810	8,75 [1])
UX Her A	C IV	17 51 54	+16 57,1	9,05—10,21 *V*	A3	19876,4782	1,5488563	9,11 [14])
V566 Oph W		17 54 25	+04 59,5	7,60—8,09 *p*	F4 V	35245,5440	0,40964101	8,03
Z Her A		17 55 52	+15 08,5	7,3—8,1 *p*	F4 IV—V	13086,348	3,9928012	7,4 [15])
SX Dra A	C IV	18 03 49	+58 23,6	9,8—11,6 *v*	A7	32273,276	5,1692	10,0 [1])
W Ser E?		18 06 58	—15 33,6	8,9—10,3 *p*	cF5	39297,725	14,1592	[16])
RZ Sct A		18 23 49	—09 14,0	7,7—8,9 *p*	B3 Ib	37033,697	15,190246	7,8
V451 Oph A	C IV	18 26 53	+10 51,5	7,86—8,46 *p*	A0 + A2	34165,4900	2,1965962	8,31
RX Her A		18 28 20	+12 34,6	7,26—7,89 *p*	A0 + A0	33170,398	1,7785724	7,77
KO Aql A	C IV	18 44 49	+10 42,6	8,3—9,3 *p*	A0	33888,366	2,863954	8,4 [1])
V356 Sgr A	K 71	18 44 54	—20 19,9	7,00—7,87 *B*	B3 V + A2 II	33900,827	8,89610	7,39
β Lyr B		18 48 14	+33 18,2	3,34—4,20 *V*	cB8 + B6,5	2398590,514	12,9081434	3,81 [17])
HS Her A		18 48 46	+24 39,6	8,2—8,6 *p*	B6 III	30880,349	1,637412	[1])
DI Her A		18 51 21	+24 12,9	8,3—9,0 *p*	B4 III + B5 III	15182,732	10,550185	8,9 [1])
V805 Aql A		19 00 44	—11 43,5	7,81—8,48 *p*	A2 + A7	27927,8470	2,408290	8,10

V337	Aql	B		19 01 34	−02 06,3	8,7−9,7 *p*	B05, V	18110,788	2,73389	9,3 [1])
FL	Lyr	A		19 10 38	+46 14,2	8,7−9,32 *v*	G5	38221,5525	2,1781544	8,95
RS	Vul	A	K 71	19 15 33	+22 21,0	6,9−7,63 *p*	B5 V + A2	32808,257	4,4776635	6,94
V889	Aql	A		19 16 34	+16 09,5	8,7−9,3 *p*	B9	27210,596	11,12071	[18])
U	Sge	A	C IV	19 16 37	+19 31,1	6,31−9,92 *p*	B9 + gG2	29111,3228	3,3806184	6,34 [1])
Z	Vul	A	C IV	19 19 35	+25 28,7	7,38−9,20 *B*	B4 V + A2 III	25456,117	2,454926	7,66
V822	Aql	A	C IV	19 28 40	−02 13,0	6,7−7,1 *p*	B2	29779,30	2,6477	[19])
V505	Sgr	A		19 50 17	−14 44,0	6,4−7,58 *p*	A1 V + F6:	33515,3295	1,18287141	6,53 [1])
V548	Cyg	B		19 55 47	+54 39,8	8,90−9,72 *p*	A0	34298,3931	1,805257	9,01
V477	Cyg	A	C IV	20 03 29	+31 49,7	8,3−9,18 *p*	A3 + F5	32846,244	2,3469977	8,46 [20])
V448	Cyg	B		20 04 16	+35 14,5	8,1−8,6 *p*	B1 Ib + O9	16361,095	6,5197283	8,4
DR	Vul	A		20 11 42	+26 35,9	8,6−9,3 *p*	B8	30903,360	2,250844	9,3
V478	Cyg	A		20 17 48	+38 10,7	8,9−9,3 *p*	B0 V − B0 V	18552,648	2,880891	9,3
MY	Cyg	A		20 18 07	+33 47,1	8,7−9,4 *p*	A7	33849,610	2,002593	
GO	Cyg	B		20 35 23	+35 15,6	8,3−8,92 *p*	B9 + A0	33861,499	0,7177626	8,49 [21])
VW	Cep	W		20 38 03	+75 24,9	7,8−8,21 *p*	G5 + K1	33163,959	0,2783179	8,14 [22])
V367	Cyg	B	K 71	20 46 06	+39 06,1	7,38−7,98 *B*	A7 Ia	34266,296	18,5972	7,78 [21])
Y	Cyg	A	K 71	20 50 04	+34 28,1	7,2−7,8 *p*	B0 IV + B0 IV	09534,3195	2,9963331	7,6 [23])
S	Equ	A		20 54 44	+04 53,2	8,0−10,0 *v*	B8 V + F0 V:	37968,345	3,436072	
DV	Aqr	B		20 55 55	−14 40,7	6,0−6,6 *p*	A3	26160,500	1,575531	6,3
RY	Aqr	A		21 17 33	−11 01,0	8,8−10,1 *v*	A3	33872,405	1,966637	8,9 [1])
GK	Cep	B	K 69	21 30 21	+70 36,2	6,9−7,5 *p*	A0 V + A0 V	38225,6858	0,936171	
EE	Peg	A		21 37 35	+08 57,4	6,9−7,57 *v*	A4 V	34622,632	2,6282	7,10 [1])
AW	Peg	A		21 50 03	+23 46,6	7,4−9,0 *p*	A4 V + F5 IV	26543,474	10,622543	
VY	Cep	A		21 55 15	+63 23,3	6,65−7,46 *p*	M2 Ia − Be	35931	743,0	[24])
MR	Cyg	A		21 57 01	+47 44,6	8,5−9,4 *p*	A0 + F7	27013,612	1,6770345	8,95
CM	Lac	A	C IV	21 58 03	+44 18,7	8,53−9,57 *B*	A2 + A8	27026,316	1,6046916	8,83
DX	Aqr	E		21 59 43	−17 12,4	6,2−6,8 *p*	A2	36814,440	0,945006	
AR	Lac	A	C IV	22 06 39	+45 29,8	6,87−7,69 *p*	sgG5 + sgK0	26624,378	1,983216	7,15 [25])
XZ	Cep	B		22 30 51	+66 53,5	8,4−9,2 *p*	O9,5 V	26033,52	5,0972155	8,7
CQ	Cep	B		22 34 57	+56 38,7	8,9−9,39 *v*	WN6 + O7	32456,668	1,641248	9,29
CW	Cep	A		23 02 01	+63 07,7	8,04−8,50 *B*	B3 + B3 V:	35373,437	2,729131	8,4
RT	And	A	C IV	23 08 56	+52 45,3	9,34−10,24 *p*	F8 V	33282,7758	0,62893098	9,51 [26])
SZ	Psc	A	C IV	23 10 50	+02 24,1	8,02−8,69 *B*	K1 IV + F8 V	36114,565	3,96637	8,10 [27])
XX	Cep	A		23 36 01	+64 03,4	9,1−10,28 *p*	A8	37986,780	2,3373201	9,26 [1])

Таблица 31б

Звезды типа Миры Кита

до $8^m,0$ в максимуме и $\delta > -30°$ (*p* — фотографические звездные величины)

Название звезды	Карта	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина *v*	Спектр	Эпоха макс. J. D. 24...	Период
SV And		$0^h 01^m 46^s$	+39° 49′,9	$7^m,7-14^m,3$	M6,5e	34668	$315^d,96$ [1])
T And		0 19 46	+26 43,2	7,7—14,3	M3e-M4e	34573	280,19
T Cas		0 20 31	+55 30,9	7,3—12,4	M6e-M8e	37886	445,0
R And		0 21 23	+38 18,0	6,0—14,9	S6,6e	39011	408,97
S Cet		0 21 31	—09 36,3	7,6—14,7	M3e-M6,5e	36826	319,91
TU Ant		0 29 45	+25 45,2	7,8—13,1	M5e	38685	316,06
U Cas		0 43 33	+47 58,3	8,0—15,4	S3,5e-S8,6e	38538	277,31
RW And		0 44 37	+32 24,8	7,9—15,4	M4e	34434	429,27
RV Cas		0 49 53	+47 08,6	7,6—15,5	M6e-M7e	38983	331,20
S Cas	K 73	1 15 58	+72 20,9	7,9—15,2	S3,4e-S5,8e	38306	611,44
R Psc		1 28 04	+02 37,4	7,1—14,8	M3e-M6e	39048	344,04
R Ari		2 13 16	+24 49,5	7,5—13,7	M3e-M6	37598	186,80
W And		2 14 23	+44 04,5	6,7—14,5	S6,1e	38401	396,71
o Cet		2 16 49	—03 12,2	2,0—10,1	M5e-M9e	38457	331,65 [2])
R Cet		2 23 28	—00 24,2	7,2—14	M4e:- M6e	36293	166,24
R For		2 27 02	—26 19,3	7,5—13,0	Ce	38053	387,85
U Cet		2 31 20	—13 22,1	6,8—13,4	M2e-M5e	38144	234,67
R Tri		2 34 00	+34 02,8	5,5—12,6	M4e-M8e	38005	266,40
U Ari		3 08 16	+14 36,8	7,2—15,2p	M4e-M6,5e	37635	371,11
T Eri		3 53 05	—24 10,6	7,4—13,2	M3e-M5e	39046	252,24
W Eri		4 09 26	—25 15,7	7,5—14,5	M7	35054	376,06
T Cam		4 35 14	+66 02,9	7,3—14,2	S4,7e	37906	374,24
X Cam		4 39 13	+75 00,6	7,4—13,7	M0-M6,5e	37921	143,49
R Lep		4 57 20	—14 52,8	5,5—10,5	N6e	37800	432,47 [3])
T Lep		5 02 44	—21 58,3	7,4—13,5	M6e-M8e	34887	368,13
R Aur		5 13 15	+53 31,9	6,7—13,7	M7e-M9e	37212	458,37
S Ori		5 26 32	—04 43,9	7,5—13,5	M6,5e-M8e	38062	419,2 [4])
U Aur		5 38 53	+32 01,1	7,5—15,5	M7e-M9e	38702	408,40
R Col		5 48 36	—29 12,7	7,8—15,0	M3e-M4e	37753	327,57

U	Ori		5 52 51	+20 10,1	5,3—12,6	M6e-M8e	35953	372,45 [5]
X	Aur		6 08 19	+50 14,4	8,0—13,6	M3e-M5e	37757	164,03
V	Mon		6 20 12	—02 10,2	6,0—13,7	M5e-M8e	36581	334,07
X	Gem		6 43 55	+30 19,9	7,6—13,6	M5e-M6e	36870	263,26
R	Lyn		6 57 11	+55 24,1	7,2—14,0	S3,9e-S6,8e	37605	378,86
R	Gem	K 71	7 04 21	+22 47,0	6,0—14,0	S3,9e-S6,9e	38124	369,63
V	CMi		7 04 15	+08 57,4	7,4—14,9	M6e	39076	366,10
R	CMi		7 05 58	+10 06,3	7,4—11,6	Sep	36270	337,91
V	Gem		7 20 21	+13 12,0	7,8—14,4	M4e-M5e	36657	275,07
S	CMi		7 30 00	+08 25,6	7,0—13,2	M6e-M8	34844	332,20
Z	Pup		7 30 28	—20 33,0	7,2—14,6	M4e-M9e	37985	499,67
T	Gem		7 46 18	+23 51,6	8,0—15,0	S4,4e-S5,9e	38072	287,66
R	Cnc		8 13 48	+11 52,9	6,2—11,8	M6e-M8e	38093	361,69
V	Cnc		8 18 52	+17 26,7	7,5—13,9	S0e-S4,9e	38045	272,17
S	Hya		8 50 58	+03 15,5	7,4—13,3	M4e-M5e	38352	256,47
T	Hya		8 53 14	—08 57,0	7,2—13,2	M3e-M5e	38396	288,32
S	Pyx		9 02 53	—24 53,3	8,0—14,0	M3e	34909	206,60
W	Cnc		9 06 58	+25 27,1	7,4—14,4	M7e-M8e	34854	393,26
X	Hya		9 33 07	—14 28,0	8,0—13,6	M7e-M7,5e	38077	301,44
Y	Dra		9 36 49	+78 04,8	7,8—15,0	M5e	36976	326,10
R	LMi		9 42 35	+34 44,6	6,3—13,2	M7e-M8e	38405	372,28
R	Leo		9 44 52	+11 39,7	4,4—11,3	M6,5e-M9e	37339	312,57
S	LMi		9 50 45	+35 09,7	7,9—14,3	M4e-M5e	36645	233,91
R	UMa		10 41 08	+69 02,3	6,7—13,4	M3e-M6e	38386	301,84
R	Com		12 01 42	+19 03,7	7,3—14,6	M5e-M7e	37662	362,2
R	Crv		12 17 02	—18 58,7	6,7—14,4	M5e-M7e	37695	316,91
SS	Vir		12 22 40	+01 02,8	6,0— 9,6	$C6_3$	38890	354,66
T	UMa		12 34 07	+59 45,8	6,6—13,4	M4e-M6e	38970	256,70
R	Vir		12 35 57	+07 15,8	6,2—12,1	M3,5e-M8e	38828	145,51
S	UMa		12 41 46	+61 22,0	7,4—12,3	S5,9e	38305	225,89
U	Vir		12 48 33	+05 49,5	7,5—13,5	M2e-M5,5e	38758	206,84
R	Hya		13 26 59	—23 01,5	3—11	M6e-M8e	37743	388,0 [6]
S	Vir		13 30 24	—06 56,4	6,3—13,2	M6e-M7e	36798	377,88
R	CVn		13 46 49	+39 47,4	7,3—12,9	M6e-M8e	38971	327,97
RU	Hya		14 08 41	—28 39,0	7,2—14,3	M6e	38518	333,19
U	UMi		14 16 14	+67 01,5	7,4—12,7	M6e	38178	326,26
S	Boo		14 21 12	+54 02,2	8,0—13,8	M3e-M6e	37898	270,80
R	Cam		14 21 18	+84 03,6	7,9—14,4	S2,9e-S8,7e	37472	270,09

Название звезды	Карта	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина v	Спектр	Эпоха макс. J. D. 24...	Период
RS Vir		$14^h\ 24^m\ 46^s$	+04° 54′,1	$7^m,0—14^m,4$	M6e-M7e	39035	$352^d,80$
R Boo		14 34 59	+26 57,1	6,7—12,8	M3e-M6e	38270	223,46
RR Boo		14 45 08	+39 31,5	8,0—12,8	M2e-M4e	37003	194,67
Y Lib		15 09 03	—05 49,4	7,6—14,7	M5e	38496	274,74
S Lib		15 18 31	—20 12,5	7,5—13,0	M2e	37797	192,37
S Ser		15 19 19	+14 29,6	7,7—14,1	M5e-M6e	34684	368,59
S CrB		15 19 21	+31 32,8	6,5—14,0	M6e-M8e	37771	360,38
RS Lib		15 21 24	—22 44,0	7,0—13,0	M7e-M8e	38862	217,65
RU Lib		15 30 28	—15 09,5	7,4—14,2	M5e-M6e	34904	316,93
S UMi		15 31 29	+78 48,2	8,0—12,9	M7e-M9e	38357	326,19
V CrB		15 47 44	+39 43,3	6,9—12,2	N2e	34840	357,82
R Ser		15 48 23	+15 17,1	5,7—14,4	M6e-M8e	37010	356,75
RR Lib		15 53 31	—18 09,5	7,8—15,0	M4e-M5,5e	38502	276,96
RZ Sco		16 01 36	—23 57,8	8,0—12,8	M3e-M4e	38100	159,59 [7]
U Ser		16 04 54	+10 03,9	7,8—14,0	M4e-M6e	37337	237,8
RU Her		16 08 09	+25 12,0	6,8—14,3	M6e-M7e	38621	485,21 [8]
W CrB		16 13 37	+37 55,2	7,8—14,3	M2e-M4e	38925	238,18
U Her		16 23 35	+19 00,3	6,5—13,4	M6,5e-M8e	37620	405,40
V Oph		16 23 57	—12 18,9	7,3—11,6	N3e	38538	297,99
R Dra	K 70	16 32 31	+66 51,5	6,9—13,0	M5e-M7e	38143	245,56
W Her		16 33 26	+37 26,8	7,7—14,4	M3e-M5e	36354	279,81
RR Oph		16 46 07	—19 22,7	8,0—14,9	M3e	38502	293,27
S Her		16 49 38	+15 01,5	7,0—13,8	M5e-M7	38326	307,60
SS Oph		16 55 15	—02 41,1	7,8—14,5	M5e	38945	180,03
R Oph		17 04 53	—16 01,7	7,0—13,6	M4e-M6e	38528	302,45
Z Oph		17 17 00	+01 33,9	7,6—13,2	K4e-M5,5e	36683	349,10
RS Her		17 19 37	+22 58,1	7,4—12,9	M4e-M6e	38123	219,54
T Dra		17 55 38	+58 13,4	7,2—13,5	C8e	34682	421,67 [9]
T Her		18 07 12	+31 00,7	6,8—13,6	M2e-M5,5e	38709	165,00
RY Oph		18 14 07	+03 40,4	7,6—13,8	M3e-M6e	39037	150,53
X Oph		18 35 57	+08 47,3	5,9—9,2	M5e-M7e	38475	334,22 [10]
ST Sgr		18 58 40	—12 49,9	7,6—15,2	S4,3e-S7,4e	38882	395,12

R Aql		19	03	57	+08 09,2	5,7—12,0	M5e-M8e	38572	293,0 [11])
W Aql	K 73	19	12	42	—07 08,2	7,8—14,2	S3,9e	38614	490,16 [12])
T Sgr		19	13	21	—17 03,6	7,7—12,9	S4e-S5e	38967	392,35 [13])
R Sgr	K 71	19	13	46	—19 23,8	6,7—12,8	M4e	34710	230,71
R Cyg		19	35	29	+50 05,2	6,5—14,2	S3,9e-S6,8e	37752	426,35
RT Aql		19	35	40	+11 36,4	7,8—14,5	M6e-M8e	34454	330,5
RT Cyg		19	42	12	+48 39,5	6,4—12,7	M2e-M6,5e	38494	190,24
χ Cyg	K 71	19	48	38	+32 47,2	3,3—14,2	S7,1-S10,1e	38037	406,84
RR Sgr		19	52	50	—29 19,4	5,6—14,0	M5e-M6e	38116	334,41
RR Aql	K 73	19	55	01	—02 01,2	7,8—14,5	M6e-M7	38970	394,33
Z Cyg		20	00	02	+49 54,2	7,6—14,7	M5e-M6e	37521	263,85
R Del		20	12	30	+08 56,2	7,6—13,7	M5e-M6e	38938	284,88
CN Cyg		20	16	54	+59 38,2	7,3—14,0	M4,5e-M6e	37836	198,62
U Cyg		20	18	03	+47 44,1	6,7—11,4	Npe	38046	464,63
V Cyg		20	39	42	+47 57,8	7,7—13,9	Npe	34771	421,27
T Aqr		20	47	18	—05 20,0	7,2—14,2	M2e-M5e	35079	201,62
RR Cap		20	59	22	—27 17,1	7,8—14,6	M5e-M6e	37979	277,39
R Vul		21	02	09	+23 37,4	7,4—13,4	M3e-M6e	38613	136,82
T Cep	K 69	21	08	53	+68 17,2	5,4—11,0	M5e-M9e	39492	387,79
SW Peg		21	20	12	+21 47,1	8,0—14,0	M4e	38750	396,33
S Cep		21	35	52	+78 24,0	7,4—12,9	N8e	34574	487,46
V Peg		21	58	32	+05 52,8	7,0—15,0	M3e-M6e	35726	302,31
S PsA		22	00	55	—28 17,7	8,0—(13,4	M3e-M5 IIe	37979	271,72
RZ Peg		22	03	40	+33 15,8	7,6—13,6	C9e	36464	439,29
X Aqr		22	15	54	—21 09,1	7,5—14,8	M6e	34553	311,27
S Lac		22	26	49	+40 03,6	7,6—13,9	M5e-M6e	36824	239,67
S Aqr		22	54	26	—20 36,6	7,6—15,0	M4e	35036	278,75
R Peg		23	04	09	+10 16,4	7,1—13,8	M6e-M9e	39039	377,84
V Cas		23	09	32	+59 25,7	7,3—12,8	M5e-M7e	37874	227,95
W Peg		23	17	22	+26 00,3	7,9—13,0	M6e-M8e	38995	344,92
S Peg		23	18	01	+08 38,7	7,4—13,8	M5e-M8e	38585	319,22
R Aqr		23	41	14	—15 33,7	5,8—11,5	M7e-Pe	34656	386,92
R Cas	K 70	23	55	52	+51 06,6	5,5—13,0	M6e-M8e	37630	430,97
Z Peg		23	57	33	+25 36,5	7,7—13,6	M6e-M8e	37873	325,47
W Cet		23	59	34	—14 57,2	7,1—14,6	S7,3e	36462	351,11

Таблица 31в

Долгопериодические цефеиды

до $10^m,0$ в максимуме и с $\delta > -30°$ (звездные величины в системе *B*, *V* или *p* — фотографические)

Название звезды и тип	Карта	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина	Спектр	Эпоха J. D. 24...	Период
FM Cas Cδ	K 70	$0^h11^m49^s$	+55° 58′,5	$9^m,72-10^m,58$ *B*	F7:-G0	36845,92	$5^d,80938$
TU Cas CW	K 70	0 23 37	+51 00,2	7,39—8,92 *B*	F3-F5 II	36792,94	2,139292 [1]
DL Cas Cδ		0 27 11	+59 56,2	9,72—10,63 *B*	F5-G1 Ib	36819,66	8,00027
RW Cas Cδ		1 33 58	+57 30,4	9,44—11,38 *B*	F6-G0	37646,50	14,7943 [2]
α UMi CW		1 48 27	+89 01,8	1,94—2,05 *V*	F7-F8 Ib	39253,23	3,96978 [3]
SU Cas Cδ	K 69	2 47 29	+68 40,9	6,37—6,98 *B*	F5-F7 Ib	37645,789	1,949298
RW Cam Cδ		3 50 15	+58 30,4	9,38—10,55 *B*	F5-G0	36814,99	16,41437
RX Cam Cδ		4 00 49	+58 31,4	8,30—9,58 *B*	G2 Ib-K2	36816,87	7,911977
SW Tau CW		4 21 55	+04 00,6	9,73—10,97 *B*	F4-F8	32049,795	1,583629 [3]
SZ Tau Cδ	K 69	4 34 20	+18 26,6	7,13—7,74 *B*	F5-F9,5 Ib	37626,21	3,14887 [4]
AW Per Cδ		4 44 25	+36 38,1	7,96—9,08 *B*	F6-G1	36807,78	6,46342 [5]
SV Per Cδ		4 46 16	+42 12,2	9,30:—10,43 *B*	F6-G1	19055,145	11,12875
RX Aur Cδ		4 57 55	+39 53,3	8,14—9,22 *B*	F8-G8	37634,53	11,624125
BK Aur Cep		5 06 50	+49 37,6	9,98—11,07 *B*	G2	36847,59	8,00251
SY Aur Cδ		5 09 05	+42 46,3	9,68—10,59 *B*	F8-G2	36853,57	10,144330
RS Col Cep		5 13 34	—28 48,4	9,0—9,4 *p*	G + G	27809	14,66
Y Aur Cδ		5 25 05	+42 23,9	9,87—11,09 *B*	F0-G1	36844,71	3,859485
ST Tau CW		5 42 14	+13 33,4	8,49—9,62 *B*	F5-G5	19718,726	4,034229
AA Gem Cδ		6 03 29	+26 20,2	9,40—10,04 *V*	F6-G4	34108,31	11,30235
GQ Ori Cδ		6 08 28	+09 37,5	9,0—9,8 *p*	G0	27866,7	8,61566
SV Mon Cδ		6 18 45	+06 29,7	7,79—8,88 *V*	F8-K5 II:	35568,7	15,2321
RS Ori Cδ		6 19 22	+14 42,2	8,80—10,03 *B*	F2-G0 Ib	25523,00	7,56681
T Mon Cδ	K 70	6 22 31	+07 06,9	5,59—6,62 *V*	F7-K1 Iab	32245,36	27,0205
RT Aur Cδ	K 69	6 25 21	+30 31,6	5,48—6,64 *B*	F5,5-G9 Ib	20957,466	3,728261
W Gem Cδ	K 70	6 32 06	+15 22,3	6,60—7,38 *V*	F6-G5	37627,34	7,91413 [3]
ζ Gem Cδ	K 71	7 01 09	+20 38,7	3,68—4,16 *V*	F7-G3 Ib	34416,78	10,15082 [3]
RY CMa Cδ		7 14 17	—11 23,8	8,31—9,48 *B*	F6-G2	35612,17	4,67825
RU Cam CW		7 16 20	+69 45,9	9,28—10,43 *B*	K0-R2	37356,9	22,055 [6]

VZ	CMa	Cep		7	24	25	−25	49,1	9,96—10,62 *B*	—	26747,14	3,12640
VX	Pup	Cδ		7	30	28	−21	49,4	8,59—9,29 *B*	F5-F8	28099,60	3,01172 [7]
X	Pup	Cδ		7	30	36	−20	48,1	8,78—10,66 *B*	F6-G0	35188,76	25,9610 [3]
VZ	Pup	Cδ		7	36	35	−28	23,0	9,73—11,65 *B*	F5-G1	34864,90	23,1688
WX	Pup	Cδ		7	39	54	−25	45,5	9,63—10,58 *B*	F6-G1	35256,71	8,93785
AQ	Pup	Cδ		7	56	20	−28	59,7	9,40—10,59 *B*	F5-G2 Ib	36625,9	29,8568 [8]
W	Vir	CW		13	23	27	−03	07,1	9,51—10,71 *V*	F0-G0 Ib	32697,783	17,2736 [6]
BF	Oph	Cδ	K 71	17	02	59	−26	30,8	7,70—8,69 *B*	F8-K2	34941,08	4,06782
X	Sgr	Cδ	K 71	17	44	25	−27	48,8	4,79—5,75 *B*	F5-G9	35643,31	7,01225
Y	Oph	Cep	K 71	17	49	58	−06	08,0	7,15—7,90 *B*	F8-G3 Ib	34921,49	17,12326 [9]
BL	Her	CW		17	58	59	+19	15,1	10,00—11,18 *B*	F0-F6 II	30475,588	1,3074572
W	Sgr	Cδ	K 71	18	01	50	−29	35,1	4,80—6,03 *B*	F2-G6	34587,26	7,594710
AP	Sgr	Cδ	K 71	18	10	00	−23	07,9	7,18—8,35 *B*	F6-G5	34907,39	5,057813
WZ	Sgr	Cδ		18	14	03	−19	05,7	8,46—10,14 *B*	G3-K6	24625,350	21,849708
Y	Sgr	Cδ	K 71	18	18	26	−18	53,1	6,00—7,14 *B*	F6-G5	35364,22	5,77335
XX	Sgr	Cδ		18	21	51	−16	49,5	9,45—10,64 *B*	F8-G8	19189,730	6,4243198
U	Sgr	Cδ	K 71	18	28	57	−19	09,7	6,35—7,08 *V*	F5-G1,5 Ib	36761,956	6,744925
SS	Sct	Cδ		18	41	01	−07	46,9	8,78—9,55 *B*	F6-G2	35315,61	3,671253
V350	Sgr	Cδ	K 71	18	42	19	−20	42,0	7,77—8,82 *B*	F5-G4	35358,43	5,15424
YZ	Sgr	Cδ	K 71	18	46	35	−16	46,8	7,83—8,86 *B*	G0-G7	34931,42	9,55345
BB	Sgr	Cδ	K 71	18	48	02	−20	21,3	7,51—8,36 *B*	F8-G5	35303,49	6,63699
FF	Aql	Cδ	K 71	18	56	01	+17	17,6	5,85—6,40 *B*	F5-F9 Ia	24703,115	4,470959 [10]
SZ	Aql	Cδ		19	02	07	+01	13,8	8,92—10,83 *B*	G0-K5	20258,765	17,137939 [3]
V496	Aql	Cδ		19	05	39	−07	30,9	8,62—9,24 *B*	G5	28719,90	6,8069
TT	Aql	Cδ	K 71	19	05	41	+01	13,1	7,47—9,27 *B*	F8-K0	37236,10	13,7546 [3]
FM	Aql	Cδ		19	06	54	+10	28,2	8,05—10,13 *B*	F5-G0	25870,347	6,11423
FN	Aql	Cδ		19	10	18	+03	28,4	8,96—10,04 *p*	F8-G2: Ia	33087,91	9,48224
U	Aql	Cδ	K 73	19	26	40	−07	08,9	7,04—8,13 *B*	F5-G3 I	34922,31	7,02393 [3]
U	Vul	Cδ		19	34	26	+20	13,2	6,77—7,52 *V*	F8-K0 Ib	20141,642	7,990676
SU	Cyg	Cδ	K 71	19	42	48	+29	08,6	6,87—7,95 *B*	F0-G1	33095,911	3,845678 [11]
SV	Vul	Cδ	K 71	19	49	28	+27	19,9	6,73—7,76 *V*	F7-K0 Iab	38268,9	45,035 [3]
η	Aql	Cδ	K 73	19	49	56	+00	52,5	4,08—5,36 *B*	F6,5-G2 Ib	32926,749	7,176141 [11]
S	Sge	Cδ	K 71	19	53	45	+16	30,1	5,79—7,05 *B*	F6-G5 Ib	35688,25	8,382173 [3]
CD	Cyg	Cδ		20	02	32	+33	58,2	9,36—11,20 *B*	F8-K0 Ib	36848,21	17,07138

Продолжение табл. 31в

Название звезды и тип	Карта	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина	Спектр	Эпоха J. D., 24...	Период
X Cyg Cδ	К 71	$20^h41^m27^s$	+35°24′,4	6^m,65—8^m,39B	F7-G8 Ib	25739,90	16^d,3866 [3])
TX Del CW		20 47 42	+03 27,9	8,85—9,50 V	G0-G5	35683,44	6,16654 [3])
T Vul Cδ	К 71	20 49 20	+28 03,7	5,43—6,09 V	F5-G0 Ib	37939,60	4,435578
DT Cyg Cδ	К 71	21 04 24	+30 59,0	6,06—6,56 B	F5,5-F7	24305,124	2,49934 [3])
AU Peg CW		21 21 41	+18 03,8	9,05—9,44 V	F8	28729,76	2,39787 [12])
VZ Cyg Cδ		21 49 41	+42 53,9	9,32—10,37 B	F5-G5	23507,516	4,8645598
BG Lac Cδ		21 58 23	+43 12,3	9,33—10,30 B	F7-G4	26213,548	5,331908
Y Lac Cδ		22 07 08	+50 48,0	8,76—9,50 V	F5-G2	18424,308	4,323788
δ Cep Cδ	К 73	22 27 18	+58 09,5	3,90—5,09 B	F5-G2 Ib	27628,86	5,366341 [3])
Z Lac Cδ		22 38 53	+56 34,1	7,91—8,93 V	F6-G6 Ib	34575,78	10,88583 [4])
RR Lac Cδ		22 39 27	+56 10,3	9,16—10,44 B	F5-K0	33537,37	6,41619
V Lac Cδ		22 46 35	+56 03,4	9,03—10,56 B	F2-G5	36809,89	4,983468
X Lac Cδ		22 47 00	+56 09,8	9,02—9,65 B	F5-G1	36814,00	5,44506 [3])

Таблица 31г

Звезды типа RR Лиры

с δ > —30° ярче 10^m в максимуме

Название звезды	Карта	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина	Спектр	Эпоха макс. J. D., 24...	Период
RU Scl		$0^h00^m14^s$	—25°13′,4	9^m,53—11^m,14 B	A0	38339,402	0^d,4933333 [1])
SW And	C IV	0 21 06	+29 07,4	9,34—10,76 B	A7-F8 III	38288,551	0,442247 [2])
RU Psc		1 11 43	+24 09,1	9,96—10,40 V	A7-F3	24057,9450	0,3903174 [3])
RR Cet	C IV	1 29 34	+01 05,2	9,33—10,33 p	A7-F5	17501,4421	0,5530253 [3])
XZ Cet		1 57 52	—16 35,4	8,5—9,2 p	A	—	0,451 [4])
SS For		2 05 36	—27 06,1	9,49—10,57 V	G0?	38668,951	0,495432

CS Eri		2 35 11	+43 10,7	8,7—9,2 *v*	A2		0,311331
X Ari	C IV	3 05 48	+10 15,5	9,25—10,48 *B*	(A0-A7)	37583,568	0,651139
SV Eri		3 09 28	—11 32,6	9,60—10,23 *V*	A8-F5	28398,200	0,7137590 [4])
AR Per		4 13 39	+47 16,7	9,93—10,80 *V*	A8-F6	38729,726	0,4255494 [4])
RX Eri		4 47 29	—15 49,6	9,22—10,10 *V*	A7-F6	21692,479	0 58724622
V429 Ori		4 53 44	—03 36,5	9—10 *v*	G4	28876,413	0,5017 [5])
AD CMi		7 50 11	+01 43,7	9,08—9,38 *V*	F0-F3 III	36601,8228	0,122974
SZ Lyn		8 06 06	+44 37,2	9,12—9,64 *V*	F2	38124,3971	0,12053487 [6])
VZ Cnc		8 38 10	+10 00,2	7,53—8,25 *p*	A7-F2 III	33631,84615	0,17836376 [3])
TT Lyn		8 59 49	+44 47,1	9,46—10,17 *V*	A6-F4	36651,3582	0,5974379
TU UMa	C IV	11 27 10	+30 20,7	9,28—10,24 *V*	F5	38510,756	0,557659 [4])
SU Dra		11 35 07	+67 36,5	9,25--10,24 *V*	F2-F6	20605,7569	0,66041926
UU Vir		12 06 02	—00 12,5	9,91—11,07 *V*	A9-F5	38805,898	0,475606 [4])
SW Dra		12 15 26	+69 47,2	9,94—10,94 *V*	F2-F6	26224,5876	0,56966993
RS Boo		14 31 25	+31 58,4	9,77—11,07 *B*	A7-F5	18115,5977	0,37733691 [4])
AE Boo		14 45 15	+17 03,3	9,2—10,0 *p*	A0	—	0,314897
EH Lib	C IV	14 56 21	—00 45,0	9,48—10,01 *V*	A5-F0	33438,6090	0,088413216
VY Ser		15 28 31	+01 51,2	9,99—10,90 *B*	F2-F6	31225,341	0,7140984
VX Her		16 28 28	+18 28,1	9,89—11,20 *V*	A4-F4	21750,4827	0,45537282 [4])
XZ Dra	C IV	19 09 24	+64 46,5	9,59—10,64 *V*	A7-F5	27985,648	0,4764944 [1])
RR Lyr	C IV	19 23 52	+42 41,2	7,20—8,57 *B*	A8-F7	38241,460	0,5668054 [1])
V440 Sgr		19 29 20	—23 57,6	9,77—11,27 *B*	A7-F5	37526,324	0,477474
XZ Cyg	C IV	19 31 27	+56 16,8	9,12—10,53 *B*	A6-F6	36933,921	0,466579 [3])
DX Del		20 45 06	+12 16,7	9,53—10,26 *V*	A9-F6	30950,506	0,47261673
AV Peg		21 49 47	+22 19,3	9,90—10,88 *V*	A7-F5	38703,727	0,39038 [4])
DH Peg		22 12 55	+06 34,2	9,27—9,78 *V*	AI-A7	38251,872	0,255510 [4])
RZ Cep		22 37 28	+64 35,7	9,48—10,31 *B*	A7-A9	38207,938	0,308645 [4])
DN Aqr		23 16 37	—24 29,5	10—10,5 *p*	—	28425,284	0,63464 [7])
BS Aqr		23 46 11	—08 25,4	9,39—10.00 *B*	A8-F3	28095,330	0, 197822776

Таблица 31д

Звезды типа U Близнецов

Название	Карта	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина	Спектр	Средний цикл
SS Aur	C IV	$6^h09^m35^s$	+47° 45′,7	$10^m,5-14^m,8$ v	Pec	(558^d)
U Gem	C IV	7 52 08	+22 08,1	8,8—14,2 v	SdBe + dK	(101,8) [1]
SW UMa	C IV	8 32 59	+53 39,1	10,8—16 p	Pec	(459)
BZ UMa		8 49 54	+58 00	10,5—16 p		
SS Cyg	C IV	21 40 45	+43 21,4	8,2—12,1 v	A1 — dGep	(51,6) [2]
RU Peg	C IV	22 11 26	+12 20,2	9,0—13,1 v	sdBe + G8n IV	65,7 [3]

Таблица 31е

Вспыхивающие звезды

Название	Карта	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина	Спектр
UV Cet	C IV	$1^h36^m26^s$	−18° 12′,7	$7^m-12^m,9$ v	dM5,5e [1]
V 371 Ori	C IV	5 31 10	+01 54,8	11,0—12,9 p	dM3e [2]
AD Leo	C IV	10 16 55	+20 07,3	9,41—10,94 B	M4,5 Ve
DT Vir		12 58 23	+12 37,7	10,34—11,32 B	dM2e
AE Aqr	C IV	20 37 34	−01 03,0	10,4—12,0 B	K5e IV-V + B [3]
DO Cep	C IV	22 26 13	+57 26,8	10,3—11,4 v	dM4,5e [4]
EV Lac	C IV	22 44 40	+44 04,6	9,5—11,5 p	dM4,5e
EQ Peg	C IV	23 29 15	+19 39	9,8—10,2 v	dM4e + dM5,5e [5]

Таблица 31ж

Звезды типа RV Тельца

Название	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина	Спектр	Эпоха J. D. 24...	Период
RV Tau	$4^h44^m02^s$	+26° 05′,4	$9^m,8-13^m,3$ p	G2e — M2 Ia	17486,6	$78^d,698$ [1]
CO Aur	5 57 08	+35 18,6	7,8—8,6 p	F5 Ib	33359	39,6 [2]
SS Gem	6 05 34	+22 37,6	9,3—10,7 p	F8 — G5 Ib	34365	89,31 [3]
SU Gem	6 10 52	+27 43,1	9,9—12,2 v	F5 — G6	—	52,12 [4]
U Mon	7 28 24	−09 40,2	6,1—8,1 p	F8e — K0p Ib	30347	92,26 [5]
TT Oph	16 47 06	+03 43,1	10,43—12,18 B	G2e — K0	28723	61,08
TX Oph	17 01 32	+05 03,1	9,8—12,1 p	F5e — G6e	26251	135
AC Her	18 28 09	+21 49,9	7,43—9,74 p	F2p Ie — K4e	35052	75,4619 [6]
R Sct	18 44 49	−05 45,6	5,87—7,86 B	G0e Ia — K0p Ib	35663	140,2 [7]
AR Sgr	18 56 40	−23 46,6	9,1—13,5 p	F5e — G6	21113,1	87,87
R Sge	20 11 47	+16 34,4	9,46—11,46 B	G0 — G8 Ib	23627,0	70,594 [8]
V Vul	20 34 25	+26 25,8	8,06—9,35 V	G4e — K3	14871,1	75,72

Полуправильные переменные звезды

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина	Спектр	Эпоха J. D. 24...	Период
T Cet	$0^h19^m14^s$	$-20°\ 20',1$	$6^m,6-7^m,7$ p	M5e II	36 460	159^d
TV Psc	0 25 26	+17 37,0	4,75—5,23 V	M3 III	31 387	49,1
RT Psc	1 11 04	+26 52,1	8,2—10,4 p	M3	—	70 [1])
Z Psc	1 13 21	+25 30,4	8,8—10,1 p	N0	—	144
R Scl	1 24 40	−32 48,1	9,1—12,8 p	$C6_5$	33 833	363,06
V393 Cas	1 58 28	+71 03,5	8,0—9,1 p	M0	—	—
T Ari	2 45 32	+17 18,1	7,5—11,3 v	M6e — M8	39 135	322,9 [2])
Z Eri	2 45 32	−12 40,1	7,0—8,6 p	M4 III	—	80 [3])
RR Eri	2 49 47	−08 28,3	7,4—8,6 p	M5 III	—	97
ρ Per	3 01 57	+38 38,9	3,3—4,0 v	M4 III	—	40± [4])
SS Cep	3 41 33	+80 10,1	8,0—9,1 p	M5 III	—	90 [5])
CK Ori	5 27 41	+04 10,0	6,20—6,6 v	K2 III	—	120?
CE Tau	5 29 17	+18 33,5	6,1—6,5 p	M2 Ib	—	165
α Ori	5 53 28	+07 23,9	0,42—1,3 v	M2 Iab	10 600	2070 [6])
S Lep	6 03 42	−24 11,4	7,1—8,9 p	M6	—	90 [7])
η Gem	6 11 52	+22 31,4	3,27—3,9 v	M3 III	37 725	232,9 [8])
UU Aur	6 33 07	+38 29,3	8,2—10,0 p	N3	—	235: [9])
IS Gem	6 46 26	+32 40,0	6,6—7,3 p	K3	—	47±
X Mon	6 54 48	−08 59,8	6,9—10,0 v	gM3e — M4	34 680	155,7
VZ Cam	7 20 41	+82 30,8	6,40—6,70 p	M4	—	23,7
AK Hya	8 37 36	−17 07,4	7,8—8,2 p	M4 III	—	112?
X Cnc	8 52 34	+17 25,4	9,3—10,9 p	N3	36 260	170±
RS Cnc	9 07 38	+31 10,1	6,2—7,2 p	M6e Ib	—	120
Y Hya	9 48 45	−22 47,0	8,3—12,0 p	N3p	—	302,8 [10])
U Hya	10 35 05	−13 07,4	7,0—9,2 p	N2	—	450±
VW UMa	10 55 38	+70 15,5	8,4—9,1 p	M2	—	125
ST UMa	11 25 07	+45 27,6	8,2—9,5 p	M4 III	—	81
TV UMa	11 42 59	+36 10,2	8,3—9,2 p	M5 III	—	50,38
Z UMa	11 53 54	+58 09,0	7,9—10,4 p	M5e III	38 373	196 [11])
Y CVn	12 42 47	+45 42,8	8,2—10,0 p	N3	—	158,0 [12])
RY Dra	12 54 28	+66 15,9	9,4—11,4 p	C3, 4	—	172,5:
FS Com	13 03 57	+22 53,0	5,5—6,1 V	M5 III	—	58:
SW Vir	13 11 29	−02 32,5	8,2—9,4 p	M7 III	—	150±
V CVn	13 17 17	+45 47,4	6,8—8,8 v	M4e — M6e	34 930	191,88
W Hya	13 46 12	−28 07,1	7,7—11,6 p	M8e — M9e:	34 755	382,2 [13])
V Boo	14 27 44	+39 05,0	7,0—11,3 v	M6e	38 095	258,23
X Her	16 01 10	+47 22,6	7,5—8,6 p	M6e	—	95,0 [14])
α Sco	16 26 20	−26 19,4	0,88—1,8 V	M1 Ib + B3	08 600	1733
g Her	16 27 00	+41 59,5	5,7—7,2 p	M6 III	—	70± [15])
TX Dra	16 34 17	+60 34,2	7,9—10,2 p	M4e — M5	—	78 [16])
α Her	17 12 22	+14 26,8	3,0—4,0 v	M5 II — Ib	—	— [17])
V533 Oph	17 50 27	−02 34,1	8,3—9,3 p	M6	—	32?
R Lyr	18 53 49	+43 52,7	3,9—5,0 v	M5 III	35 920	46,0
CH Cyg	19 23 14	+50 08,5	7,4—9,1 p	M6	—	97 [18])
UX Dra	19 23 22	+76 27,7	5,94—6,54 V	$C7_3$	—	168 [19])
AF Cyg	19 28 43	+46 02,5	7,4—9,4 p	M5e	—	94,1
V450 Aql	19 31 18	+05 21,4	7,0—8,9 p	M8	31 320	64,20
RS Cyg	20 11 35	+38 34,6	6,5—9,3 v	N0pe	37 930	418,0 [20])
RT Cap	20 14 11	−21 28,4	8,9—11,7 p	N3	—	393
EU Del	20 35 38	+18 05,6	6,0—6,9 v	M6 III	35 794	59,5
RS Cap	21 04 28	−16 37,4	8,3—10,3 p	M4	—	340 [21])
FZ Cep	21 18 11	+55 14,1	8,5—9,1 p	M7	—	—
V1070 Cyg	21 20 52	+40 43,1	6,7—7,7 v	M7 III	—	—
W Cyg	21 34 08	+45 09,0	6,8—8,9 p	M4e — M6	30 684	130,85
V1339 Cyg	21 40 14	+45 32,2	5,9—6,4 v	M3	—	35?
μ Cep	21 41 59	+58 33,0	3,6—5,1 v	M2e Ia	—	— [22])
TW Peg	22 01 43	+28 06,3	7,0—9,2 v	M6 — M7	30 370	956,4 [23])

Таблица 31и

Неправильные переменные звезды

Название звезды	α_{1950}	δ_{1950}	Звездные величины	Спектр
V 465 Cas	$1^h15^m06^s$	+57° 32′,4	$7^m,7-8^m,9$ *p*	M5
KK Per	2 06 48	+56 19,4	6,6—7,6 *V*	M1 — M3,5 Ib
BU Tau	3 46 12	+23 59,1	4,9—5,3 *B*	B8 IVe [1])
X Per	3 52 15	+30 54,0	6,0—6,6 *v*	Opev
RX Lep	5 09 03	−11 54,6	5,68—7,0 *v*	gM6
AE Aur	5 13 00	+34 15,4	5,4—6,1 *v*	O9,5 V
NU Ori	5 33 04	−05 17,9	6,5—7,8 *v*	B1 V
V 359 Ori	5 33 05	−04 52,2	6,9—9,8 *p*	B3 Vp
V 352 Ori	5 59 16	−02 21,2	8,5—10,0 *p*	M7ep
BU Gem	6 09 17	+22 55,3	6,1—7,5 *v*	M1 Ia [2])
ψ^1 Aur	6 21 03	+49 18,9	6,6—7,2 *p*	M0 Iab
BL Ori	6 22 37	+14 45,1	8,5—9,7 *p*	Nb
W CMa	7 05 43	−11 50,6	8,7—9,7 *p*	N
BN Gem	7 34 14	+17 01,0	6,0—6,6 *p*	O8 V : pe
VY UMa	10 41 37	+67 40,4	5,9—6,5 *v*	$C6_3$
RW Vir	12 04 41	−06 29,2	8,6—9,1 *p*	M5 III
TU CVn	12 52 39	+47 28,0	7,2—7,7 *p*	M5 III
R CrB	15 46 31	+28 18,5	5,8—14,8 *v*	cFpep
AT Dra	16 16 25	+59 52,6	6,8—7,5 *p*	M5
AZ Dra	16 41 31	+72 45,9	8,0—8,9 *p*	M2
OP Her	17 55 22	+45 21,3	7,7—8,3 *p*	M5 II — III
XY Lyr	18 36 27	+39 37,4	7,3—7,8 *p*	M4-5 Ib-II
V 1942 Sgr	19 16 18	−16 00,0	6,74—7,1: *V*	$C4_6$ [3])
V 973 Cyg	19 43 07	+40 35,6	7,8—8,6 *p*	Ma
V 1322 Cyg	20 21 55	+38 20,6	8,8—9,6 *V*	B0pe
U Del	20 43 10	+17 54,4	7,6—8,9 *p*	M5 II — III [4])
T Cyg	20 45 11	+34 11,4	5,0—5,5 *v*	K3 III [5])
V 460 Cyg	21 39 54	+35 16,8	6,1—7,0 *v*	N1
DM Cep	22 07 24	+72 31,4	8,4—9,6 *p*	M4
GO Peg	22 52 35	+19 16,9	8,6—9,3 *p*	M4
TX Psc	23 43 50	+03 12,6	6,9—7,7 *p*	N0
ρ Cas	23 51 52	+57 13,3	4,1—6,2 *v*	F8p — K5p [6])

ПРИМЕЧАНИЯ К ТАБЛИЦАМ 31а—31и

31а. Затменные переменные звезды.

1) *P* меняется. [2]) М. б. *P* вдвое меньше. [3]) Фаза Min II $0^P,549$. [4]) Макс. меняется $8^m,6-9^m,0$ с элементами: 2 416 245 + 513·*E*, что вызвано переменностью комп. А5 на $0^m,8$. Период меняется. [5]) Тройная система. [6]) Виз. спутник $12^m,5$ на расст. 1″. [7]) Блеск показывает флуктуации до $0^m,24$. [8]) Возможно движение линии апсид с $P_1=40\,000P$. [9]) Флукт. блеска, так как комп. А6 — физ. пер., *P* меняется. [10]) М. б. *P* вдвое больше. [11]) Кривая блеска меняется с неправильностями, *P* меняется с циклом 42 года. [12]) Виз. сп. $9^m,5$ на расст. 3″,6: *P* меняется. [13]) Виз. сп. $9^m,7p$ на расст. 8″,1. [14]) *O* — *C* удовл. период. членом, $+0{,}010 \sin(0°{,}03333\cdot E+263°)$. [15]) Возможна физ. перем. одной или обеих компонент. [16]) Общая протяженная оболочка, увеличение *P*, физ. колеб. блеска с ампл. до $0^m,7$. [17]) *P* меняется: $+0{,}38366\cdot10^{-5}\cdot E^2$, наклад. небольшие непериод. колеб. *P*, форма кривой блеска меняется. [18]) Min II — Min I = $3^d,919$. [19]) Сп.-дв. с $P=5^d,29510$ и ампл. 138 *км/сек*; [20]) Вращение линии апсид, $e=0{,}235$; [21]) Физ. флукт. блеска компонент. [22]) *P* и форма кривой блеска меняются ($P_1=30$ лет, $P_2=20$ лет). [23]) Вращение линии апсид. [24]) На медл. колеб. с $P=13{,}7$ лет и ампл. $0^m,15$ наклад. измен. с $P=349$ дней и ср. ампл. $0^m,3$. [25]) Комп. sgG5 — физ. перем. с ампл. $0^m,24$, *P* меняется. [26]) Нелинейные элементы, физ. перем. от ночи к ночи, возможны изм. *P*. [27]) Возм. физ. перем. одной из комп., возм. измен. *P*.

31б. Звезды типа Миры Кита.

[1]) Величина в максимуме меняется с P 930^d и 5400? [2]) Комп. A системы ADS 1778, комп. B — перем. VZ Cet, [3]) Величина в макс. меняется от $5^m,5$ до $6^m,5$ с возм. $P > 40$ лет. [4]) P сильно меняется. [5]) В $0',7$ от затм. UW Ori $(11^m,1-11^m,6)$. [6]) P сильно меняется: в начале 18 в. 500^d, к началу 20 в. $\sim 400^d$, ампл. увеличивается [7]) P и ампл. меняются. [8]) Вероятно наличие сп., так как в мин. спектр комбинированный. [9]) ADS 10 937 A, сп. B = UY Dra явл. опт. [10]) ADS 11 524 A с заметным орб. движ., сп. K1 III. [11]) P меняется скачками. [12]) Составной спектр, возможно, имеется сп. F5-F8. [13]) Сп. F3, на расст. меньше $0'',8$.

31в. Долгопериодические цефеиды.

[1]) Колеб. ампл. и формы кривой блеска с $P = 5^d,23026$; возможно существ. голуб. спутника. [2]) Скачкообр. измен. P с тенденцией к уменьшению. [3]) P меняется. [4]) P, возможно, меняется. [5]) Тесная компонента B6 V на $2^m,8$ слабее. [6]) P и форма кривой меняются, необычный спектр. [7]) Эффект Блажко с периодом $\Pi = 10^d$, м. б. полуправильная или даже неправильная. [8]) P и кривая блеска, вероятно, меняются. [9]) Кривая не типична, P изменился скачком около J. D. 2 431 377, до этого был $17^d,11884$. [10]) Сп.-дв. с $P = 1435^d,0$. [11]) На протяжении 170 лет P менялся дважды. [12]) Возможен эффект Блажко.

31г. Звезды типа RR Лиры.

[1]) Эффект Блажко. [2]) Форма кривой меняется, даны текущие элементы по Цесевичу. [3]) P и кривая меняются. [4]) P меняется. [5]) Спектр. класс противоречит типу переменности. [6]) P и форма кривой меняются с периодом 1129^d. [7]) Возможно, что форма кривой меняется.

31д. Звезды типа U Близнецов.

[1]) Одновременно тесная двойная и затменная с элементами: Min I = 2437638,82704 + + 0,17690591·E. [2]) Сп.-дв. с $P = 0^d,276$. [3]) Сп.-дв. с $P = 0^d,3708$; физ. сп. $13^m,4$ на расст. $12''$.

31е. Вспыхивающие звезды.

[1]) Блеск в мин. меняется. [2]) Во время вспышек спектр Be — Ae. [3]) Сп.-дв. с $P = 0^d,701024$; колеб. блеска быстрые и неправильные (вспыхивающая особого типа, [4]). ADS 15972 B. [5]) Двойная с $\rho = 3'',7$; меняется комп. B $(12^m,6\ V)$; в табл. дано измен. суммарного блеска.

31ж. Звезды типа RV Тельца.

[1]) Ср. величина меняется с периодом 1224^d, с ним же меняется ампл. основного колебания блеска (за счет изменений макс. и мин.). [2]) Может быть это неправ. перем. [3]) Мин. II $10^m,0$; кривая блеска переменна. [4]) Ср. m меняется с периодом 690^d. [5]) Ср. велич. меняется с периодом 2320^d. [6]) Величина в макс. меняется с ампл. $1^m,6$; гл. и вторич. мин. меняются местами в среднем каждые $50P$. [7]) Много неправильностей в поведении спектра. [8]) Ср. велич. меняется с периодом 1112^d.

31з. Полуправильные переменные звезды.

[1]) Накладывается колеб. с периодом 533^d. [2]) Период и ампл. меняются. [3]) Существ. еще цикл 746^d. [4]) Возможны колеб. ср. блеска с периодом 1100^d. [5]) Ср. блеск изм. с циклами от неск. сотен до тысячи дней. [6]) Наклад. волны от неск. недель до неск. месяцев. [7]) Вторичн. колеб. с циклом $875-890^d$. [8]) ADS 4841 A = сп. и затм. дв.; в табл. эпоха мин., V_r изм. с периодом 2984^d. [9]) Ср. блеск, возможно, меняется с периодом 3500^d. [10]) Ср. блеск медл. меняется. [11]) Кривая блеска напоминает RV Tau, иногда гл. и втор. мин. меняются местами. Ср. блеск меняется с периодом 1560^d и ампл. $0^m,2$. [12]) Колеб. блеска с больш. неправильностями. [13]) Может быть это мира. [14]) Ср. блеск меняется с периодом 746^d. [15]) Возм. ср. блеск меняется с периодом $\sim 900^d$. [16]) Ср. блеск меняется с периодом 654^d. [17]) ADS 10418 A, сп. $5^m,4$ G0 II — III на расст. $4'',7$; на медл. колеб. блеска с периодом ~ 6 лет и ампл. $0^m,5$ наклад. колеб. $50-130^d$ с ампл. $0^m,3-1^m,0$; система окружена газовой оболочкой, расшир. со скоростью 10 *км/сек*. [18]) Ср. блеск меняется с периодом 4700^d. [19]) Иногда измен. блеска происх. с удвоенным периодом, ср. блеск. измен. с периодом 960^d. [20]) Сильные измен. формы кривой блеска. [21]) Медл. колеб. блеска с периодом 3360^d. [22]) Несколько накладывающихся периодов. [23]) Небольш. колеб. с периодом $\sim 90^d$, наклад. на колеб. с периодом $956^d,4$.

31и. Неправильные переменные звезды.

[1]) Возможно, сп.-дв. с оч. длинным периодом. [2]) Может быть затм. с периодом ~ 32 лет. [3]) На медл. колебание с циклом $800-2000^d$ (ампл. $\sim 0^m,8$) наклад. быстрые с ампл. $0^m,4$. [4]) Цикл $\sim 110^d$, ср. блеск меняется с периодом $\sim 1100^d$. [5]) Кратная система, комп. 10^m на расст. $10''$ — физ., комп. 12^m на расст. $14''$ — оптич. [6]) Возможно, затм. с большим периодом или типа R CrB.

Яркие галактические рассеянные скопления севернее $\delta = -45°$

(в скобках неуверенные данные)

NGC	M	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	D	m_{ph}, инт.	Расстояние, *кпс*	D, *пс*	m_{ph}, ярк. зв.	N	Спектр ярк. зв.
457	—	Cas	$1^h15^m,9$	+58°04′	14′	$7^m,5$	2,10	8,5	$10^m,2$	100	B2
581	103	Cas	1 29,9	+60 27	6	7,0	2,50	4,8	10,0	60	B3
869	—	h Per	2 15,5	+56 55	36	4,3	1,90	16,9	9,3	350	B1
884	—	χ Per	2 18,9	+56 53	36	4,3	2,0	14,2	9,3	300	B2
1039	34	Per	2 38,8	+42 34	42	5,7	0,50	5,7	8,7	80	B8
Плеяды	45	Tau	3 43,9	+23 58	180	1,4	0,13	6,8	3,6	130	B5
Гиады	—	Tau	4 16,7	+15 31	1200	0,8	0,04	13,0	4,4	100	A2+G
1912	38	Aur	5 25,3	+35 48	26	7,0	0,85	6,4	10,3	150	B5+G
1960	36	Aur	5 32,0	+34 07	19	6,3	1,10	6,3	8,9	60	B3
2099	37	Aur	5 49,0	+32 33	34	6,2	1,10	10,9	11	270	B9+G
2168	35	Gem	6 05,7	+24 20	40	5,3	0,80	9,4	9,0	120	B4
2287	41	CMa	6 44,9	−20 42	50	5,0	0,5	7,4	7,8	90	A0+G
2281	—	Aur	6 45,8	+41 07	17	6,7	1,66	(7)	(10,3)	30	—
2447	93	Pup	7 42,4	−23 45	25	6,0	1,10	8,0	9,5	80	B9+G
2632 *)	44	Cnc	8 37,5	+19 52	420	3,9	0,16	28,0	6,6	320	B9+G
2682	67	Cnc	8 48,3	+12 00	18	4,0	0,80	4,2	11,6	100	B9+G
6231	—	Sco	16 50,7	−41 43	22	(6)	1,30	8,4	6,7	120	Oa
6242	—	Sco	16 52,2	−39 25	10	(7)	(0,60)	(1,8)	(8,0)	44	—
6405	6	Sco	17 36,8	−32 11	55	4,6	0,40	6,4	4,1	80	B5
6416	—	Sco	17 41,0	−32 20	20	(7)	(0,60)	(3,6)	(8,0)	35	—
6475	7	Sco	17 50,7	−34 48	70	3,2	0,25	5,3	6,2	80	B5
6494	23	Sgr	17 54,0	−19 01	35	6,0	0,60	6,0	9,4	120	B9+G
6520	—	Sgr	18 00,3	−27 54	5	7,5	(0,7)	(1,0)	(8,5)	25	—
6531	21	Sgr	18 01,8	−22 30	12	6,5	1,50	5,1	8,2	50	B0
6603	24	Sgr	18 15,5	−18 27	4	(11)	(5,0)	(5,8)	(12,0)	50	—
6611	16	Sgr	18 16,0	−13 48	25	6,4	(1,7)	(12,0)	(10,3)	55	—
6645	—	Sct	18 29,8	−16 56	10	8,5	(2,3)	(6,6)	(11,0)	75	—
6705	11	Sct	18 48,4	−06 20	12	6,3	1,60	5,5	11,3	200	B8+G
6939	—	Cep	20 30,4	+60 28	10	10,0	1,70	5,0	13,2	100	B8+G
7092	39	Cyg	21 30,4	+48 13	30	5,2	0,28	(2,4)	(6,2)	25	B9
7654	52	Cas	23 22,0	+61 20	18	7,7	0,90	4,8	11,3	120	B7

*) Ясли (Praesepe).

NGC — номер по каталогу Драйера, M — по каталогу Мессье, D — угловой диаметр, m_{ph} инт. — интегральный блеск скопления, $D_{пс}$ — диаметр в парсеках, m_{ph} — ярк. зв. — средняя звездная величина пяти ярчайших звезд скопления, спектр ярк. зв. — спектр. классы самых ярких звезд.

Таблица 33

Галактические шаровые скопления севернее δ = −45°

NGC	M	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Диам. *) в ′	Интегр. m_V	Интегр. спектр	Расст., кпс	v_r **), км/сек
1851	—	Col	$5^h12^m,4$	−40°05′	12′,5	(6^m,8)	F7	7,8	+310
5024	53	Com	13 10,5	+18 26	9	7,8	F4	14,4	−110
5272	3	CVn	13 39,9	+28 38	125	6,5	F5	9,2	−155
5904	5	Ser	15 16,0	+02 16	14	6,0	F6	6,6	+50
6093	—	Sco	16 14,1	−22 52	9	7,3	F6	10,0	+20
6121	4	Sco	16 20,6	−26 24	24	6,0	F8	6	+65
6205	13	Her	16 39,9	+36 33	16	5,9	F5	6	−240
6218	12	Oph	16 44,6	−01 52	14	6,8	F6	4,5	+40
6254	10	Oph	16 54,5	−04 02	14	6,7	F8	5,0	+70
6266	62	Oph	16 58,1	−30 03	15	6,7	F8	5,8	−75
6273	19	Oph	16 59,5	−26 11	12	6,9	F4	3,6	+100
6341	92	Her	17 15,6	+43 12	11	6,5	F2	7,8	−120
6541	—	CrA	18 04,4	−43 44	12	(6,8)	F5	5,2	−150
6626	28	Sgr	18 21,5	−24 54	13	7,0	F9	5,9	0
6656	22	Sgr	18 33,3	−23 58	24	5,1	F7	2,8	−145
6723	—	Sgr	18 56,2	−36 42	8	7,1	G2	8,1	−3
6809	55	Sgr	19 36,9	−31 03	12	6,4	F5	4,0	+170
7078	15	Peg	21 27,6	+11 57	12	6,4	F3	8,3	−110
7089	2	Aqr	21 30,9	−01 03	12	6,5	F4	8,8	−5
7099	30	Cap	21 37,5	−23 25	8	7,6	F3	9,7	−175

*) Исправлен за межзвездн. поглощение.
**) С учетом движения Солнца к стандартному апексу.

Таблица 34а

Яркие галактические планетарные туманности севернее δ = −45°

NGC или IC	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Тип *)	Диам.	m_{ph} инт. тум.	m_{ph} центр. звезды	Спектр тум.	Спектр центр. звезды	Расстояние, *кпс*	Примечания
40	Cas	$0^h10^m,2$	+72°15′	IIIb	1′×0′,6	$10^m,2$	$11^m,4$	Pf	Oa	1,0	
246	Cet	0 44,6	−12 09	IIIa	4,0	8,5	11,3		O7	0,5	
1535	Eri	4 12,1	−12 52	IV+VI	0,3	9,3	11,8	Pd	непр.	0,7	
2149	Aur	5 52,6	+46 07	IIIb+II	0,2	9,9	14,0		O7	0,9	
2392	Gem	7 26,2	+21 01	IIIb+IV	0,8	8,3	10,5		O8e	0,4	
2438	Pup	7 39,6	−14 36	IV	1,1	11,3	16,8	Pd		1,7	Близ сев. края расс. ск. NGC 2437
2440	Pup	7 39,9	−18 05	V	0,9×0,3	11,7	—	Pe		2,0	
3132	Ant	10 04,9	−40 11	IV	1,4×0,9	8,2	10,6	P		0,4	
3242	Hya	10 22,4	−18 23	IIIb+IV	0,7	9,0	11,4	Pe	непр.	0,6	
3587	UMa	11 12,0	+55 18	IIIa	3,4	12,0	14,3	P		2,3	N 97 «Сова» (Owl)
4361	Crv	12 21,9	−18 29	IIIa	1,3	10,8	12,8	Pf	непр.	1,3	
4406	Lup	14 19,3	−43 55	IIIb	1,7×0,6	10,6	—	Pb		1,2	
6210	Her	16 42,5	+23 53	II+VI	0,3×0,2	9,7	12,5	Pe	O6	0,8	
6543	Dra	17 58,8	+66 38	IIIa	0,4×0,3	8,8	11,1	Pd	O6	0,5	
6572	Oph	18 09,7	+06 50	IIa	0,3×0,2	9,6	12	Pd	O6	0,8	
6720	Lyr	18 51,7	+32 58	IV	1,4×1,0	9,3	14,7	Pb	непр.	0,7	M 57, «Кольцо» (Ring)
6818	Sgr	19 41,1	−14 17	IV	0,4×0,3	9,9	15,0	Pe		0,9	
6826	Cyg	19 43,4	+50 24	IIIa	0,4	8,8	10,8	Pd	O5	0,5	
6853	Vul	19 57,4	+22 35	IIIa	8×4	7,6	13,4	P	непр.	0,3	M 27, «Гантель» (Dumbell)
7009	Aqr	21 01,4	−11 34	IV+IIIa	0,7×0,4	8,4	11,7	Pe	непр.	0,4	«Сатурн»
7293	Aqr	22 27,0	−21 06	IV	15×12	6,5	13,3	P		0,2	«Улитка» (Helix)
7635	Cas	23 18,5	+60 54	V	3	8,5	8,5		O7	0,5	
7662	And	23 23,5	+42 14	IV+IIIa	0,5	8,9	12,5	Pe	непр.	0,6	

*) Тип по классификации Б. А. Воронцова-Вельяминова: I — звездоподобная; IIa — овальная, равномерно яркая, но с уплотнением к центру; IIb — то же, но без уплотнения; IIIa — овальная, неравномерная яркость; IIIb — то же — на краях ярче; IV — кольцеобразная; V — неправильная (переход к диффузным туманностям); VI — аномальная.

Таблица 34б

Яркие диффузные туманности севернее δ = —45°

NGC или IG	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Размеры	m_{vis} *)	Спектр *)	Расст., *кпс*	Примечание
I 59	γ Cas	$0^h53^m,7$	+60°48′	18′×12′	$2^m,2$	B0ep	0,20	
1499	Per	4 00,1	+36 17	145×40	4,0	O7n	0,60	«Калифорния»
I 2118	Eri	5 04,5	—07 17	140×40	0,3	cB8ep	0,40	
1976	θ_1 Ori	5 32,9	—05 25	66×60	5,4	O7 — B8	0,30	Больш. тум. Ориона, М 42
1977	42 Ori	5 33,0	—04 54	42×26	4,6	B3	0,40	
—	ζ Ori	5 43,0	+02 00	330×40	1,9	B0ne	0,40	
2237—9	Mon	6 29,6	+04 40	64×61		O6	1,10	«Розетка»
2261	R Mon	6 36,4	+08 46	перем.	перем.	Bp	2,00	Тум. Хаббла
2264	S Mon	6 38,2	+09 57	60×30	4,7	O7n	1,00	«Conus»
I 2177	Mon	7 03,1	—10 29	85×25	7,1	B0p	0,56	
I 4606	α Sco	16 26,4	—20 20	85×80	1,2	cM1	0,11	(Antares)
6514	Sgr	17 58,9	—23 02	29×27	6,9	O7	0,67	«Трехдольная» (Trifid), М 20
6523	Sgr	18 01,6	—24 20	60×35	6,8	O5e	0,77	(Lagoon), М 8
I 1287	Sct	18 27,6	—10 50	44×34	5,80	B3s	0,25	
I 1318	γ Cyg	20 14,7	+41 39	24×17	2,32	cF8p	0,17	
6960	52 Cyg	20 43,6	+30 32	70×6			0,40	(Cirrus)
I 5067—0	Cyg	20 46,9	+44 11	85×75	1,3	cA2e	0,28	«Пеликан»
6992—5	Cyg	20 54,3	+31 30	78×8			0,40	(Cirrus)
7000	α Cyg	20 57,0	+44 08	120×100	1,3	cA2e	0,28	«Америка»
—	Cep	21 10,7	+59 47	100×65	5,6	B0s	0,71	

*) Относятся к звезде, освещающей туманность.

Яркие галактики севернее $\delta = -45°$

Галактика NGC	Галактика M	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Тип	Спектр	Угловые размеры	Инт. $m_{фот.}$	Расст. *), Мпс	Лучевая **) скорость v_r в км/сек
55	—	Scl	$0^h12^m,5$	−39°30′	Im	Em	30′×6′	$7^m,9$	2,1	97
205	—	And	0 37,6	+41 25	E6p	A8	26×16	8,9	0,7	−6
221	32	And	0 40,0	+40 36	E2	G3	12×8	9,1	0,7	17
224	31	And	0 40,0	+41 00	Sb	G5	200×90	4,3	0,7	−68
253	—	Scl	0 45,1	−25 34	Sc	Em	22×6	7,7	2,1	−104
300	—	Scl	0 52,6	−37 58	Sc	Em	23×17	8,8	2,1	95
598	33	Tri	1 31,1	+30 24	Sc	A7	83×53	6,2	0,7	−130
628	74	Psc	1 34,0	+15 22	Sc	F5	12×12	9,7	9,1	682
2403	—	Cam	7 32,0	+65 43	Sc	F2	14×9	9,5	3,2	187
3031	81	UMa	9 51,5	+69 18	Sb	G3	35×14	7,8	3,2	77
3034	82	UMa	9 51,9	+69 56	Ir	A5	13×8	9,2	3,2	400
3115	—	Sex	10 02,8	−07 28	E7	G5	4×1	10,1	8,0	423
3351	95	Leo	10 41,3	+11 58	SBb	F5	3×3	10,5	8,5	643
3368	96	Leo	10 44,2	+12 05	Sa	G0	11×8	10,0	8,5	792
3623	65	Leo	11 16,3	+13 23	Sb	G0	8×2	9,8	8,5	640
3627	66	Leo	11 17,6	+13 17	Sb	G2	14×7	9,6	8,5	633
4254	99	Vir	12 16,3	+14 42	Sc	G2	4×4	10,2	13,8	2397
4258	—	CVn	12 16,5	+47 35	Sb	G0	24×6	8,9	10,0	494
4374	84	Vir	12 22,6	+13 10	S0	G5	11×10	10,2	13,8	880
4382	85	Com	12 22,8	+18 28	S0	G5	11×8	10,0	13,8	721
4472	49	Vir	12 27,3	+8 16	E1	G5	7×7	9,3	13,8	918
4486	87	Com	12 28,3	+12 40	E0	G5	9×6	10,1	13,8	1218
4501	88	Com	12 29,5	+14 42	Sc	G5	9×6	10,1	13,8	2060
4565	—	Com	12 33,9	+26 16	Sb	G0	15×1	10,2	15,2	1171
4594	104	Vir	12 37,3	−11 21	Sb	G3	12×11	9,2	13,8	1021
4631	—	CVn	12 39,8	+32 49	Im	E	19×4	9,7	8,0	611
4649	60	Vir	12 41,1	+11 49	E2	G7	10×9	9,9	13,8	1321
4736	94	CVn	12 48,6	+41 23	Sb	G0	15×13	8,9	10	345
4826	64	Com	12 54,3	+21 57	Sb	G7	12×8	9,3	10	364
5005	—	CVn	13 08,5	+37 19	Sb	G0	5×2	10,5	14,4	1078
5055	63	CVn	13 13,5	+42 17	Sb	F8	16×10	9,3	8,0	575
5128	—	Cen	13 22,4	−42 45	Ep	F8	31×25	7,9	3,8	261
5194	51	CVn	13 27,8	+47 27	Sc	F8	14×10	8,9	7,0	546
5236	83	Hya	13 34,3	−29 37	Sc	F0	11×9	8,4	3,8	319
5457	101	UMa	14 01,4	+54 35	Sc	F8	28×28	8,2	7,0	394
6822	—	Sgr	19 42,1	−14 53	Im	Em	20×20	9,2	0,4	98
7331	—	Peg	22 34,8	+34 10	Sb	G8	9×2	10,2	14,3	1072
7793	—	Scl	23 55,3	−32 51	Sc	F5	10×7	9,4	2,1	292

*) Для $cz > 500$ *км/сек* расст. опред. по красному смещению при постоянной Хаббла $H = 75$ *км/сек·Мпс*. Для близких галактик — по различным индикаторам расстояний.
**) Исправлено за движение Солнца относительно Местной группы галактик (т. е. за вращение Солнца вокруг центра Галактики и за движение Галактики в Местной группе).

Таблица 36а

Галактические источники радиоизлучения

(с потоками излучения S больше $1{,}5 \cdot 10^{-24}$ *вт/м²гц* на одной из частот: 178, 400, 1400 и ~3000 *Мгц*)

В таблице даны: №№ по общему каталогу дискретных радиоисточников (GC) (ApJ Suppl. № 93, 1965). Паркскому каталогу радиоисточников (PKS) (Austr. J. of. Physics **17—19**, 1965—1966), 3-му Кембриджскому каталогу (3C) (Mem. Roy. Astron. Soc. vol. CXIII p. V, 163, 1962) либо каталогу Вестерхаута (W) (BAN **14**, № 488, 1958), α_{1950}, δ_{1950}, потоки (в единицах 10^{-24} *вт/м²гц*) для четырех указанных частот, созвездие или обозначение, идентификация с оптическими объектами. Почти ко всем строчкам таблицы в примечаниях даны дополнительные сведения.

№№ GC	3C или W или PKS	α_{1950}	δ_{1950}	Потоки 178	Потоки 400	Потоки 1400	Потоки 3000	Созв. или обознач.	Идентификация
98	W3	$2^h22^m,7$	+61°51′	3,9	2,3	1,5	—	Cas	IC 1795
119	PKS	3 20,7	−37 25	—	1,4	1,5	0,7	For A	NGC 1316
174		4 57,5	+46 26	2,5	1,3	—	—	Aur	
194	144	5 31,6	+21 59	14,2	10,7	8,4	6,5	Tau A	NGC 1952
195	145	5 32,8	−05 25	0,9	2,3	5,2	4,5	Ori	NGC 1976
213	157	6 14,1	+22 44	2,2	2,3	1,8	1,0	Gem	IC 443
223	163	6 29,4	+04 52	2,5	2,0	2,6	3,0	Mon	NGC 2244
280		8 21,3	−42 52	—	—	1,8	—	Pup A	
492		17 03,2	+09 16	3,3	—	0,06	—	Oph	
495		17 11,1	−38 23	—	3,3	1,0	—	Sco	
497		17 19,8	−35 40	—	1,1	4,0	2,5	Sco	NGC 6334
498		17 22,3	−34 14	—	5,1	5,5	4,0	Sco	NGC 6357
504	W23	17 30,7	−32 31	—	0,5	2,6	0,2	Sco	
508		17 42,6	−28 56	100	~30	~35	65	Sgr A	Центр Гал.
513		17 57,4	−23 26	—	4,9	4,0	1,0	Sgr	NGC 6514
517		18 00,9	−24 24	—	2,0	2,2	1,6	Sgr	NGC 6523
521		18 07,8	−19 38	—	3,6	—	—	Sgr	
523	W33	18 11	−17 50	—	—	1,9	1,7	Sgr	
526	W35	18 15,3	−12 00	—	1,5	2,5	2,2	Sge	NGC 6604
527		18 16,3	−13 45	—	1,3	2,5	1,5	Sge	NGC 6611
528		18 17,6	−16 12	—	2,4	7,0	6,0	Sge	NGC 6618
539	W41	18 31,6	−08 42	—	2,4	0,8	—	Sct	
553	W43	18 44,7	−02 06	1,1	4,4	3,3	1,7	Aql	3C 390,2
556	392	18 53,6	+01 14	4,2	3,2	2,0	1,4	Aql	W 44
571	400	19 21,5	+14 24	5,4	2,9	7,1	—	Aql	

№№ GC	3C или W или PKS	α_{1950}	δ_{1950}	Потоки				Созв. или обознач.	Идентификация
				178	400	1400	3000		
601	409,1	$20^h17^m,3$	+45°25′	2,3	1,1	1,0	—	Cyg	
607	W66	20 20,6	+40 03	—	11,7	4,0	—	Cyg	
611	W69	20 29,9	+39 04	—	2,4	2,4	—	Cyg	
613	W70	20 30,4	+43 50	0,2	0,3	2,5	—	Cyg	
617	W73	20 33,5	+41 42	1,6	4,9	2,3	—	Cyg	
621	W75	20 37,6	+41 59	0,7	6,4	2,9	—	Cyg	
628		20 45	+50 30	4,1	1,7	1,9	—	Cyg	
630		20 47,6	+30 18	4,3	1,1	0,9	—	Cyg	
636	W80	20 53,4	+43 52	2,2	3,6	3,8	—	Cyg	
644		21 10,6	+52 16	—	1,5	—	—	Cyg	
698		23 21,2	+58 32	113	56	28	16	Cas A	

Примечания.

98 Обл. H II. Диам. 2—3° на низк. част., 20′ — на высокой, источник излуч. OH. IC 1795.
174 Остаток SN. Опт. и радиодиаметр ~ 2°.
194 M 1, Крабовидн. тум. — ост. SN 1054 г.; разм. 6′×4′; в центре находится пульсар NP 0532.
195 M 42, тум. Ориона, H II, $d \sim 4'$ (во всяком случае для $\nu \geqslant 960$ *Мгц*), ист. излуч. OH.
213 Ост. SN.
223 Обл. H II, «Розетка», диам. опт. и радио ~1°,3.
280 Тум., опт. раз. 50′×80′; может быть ост. SN.
497 Обл. H II, опт. разм. 50′×25′, на част. 960 *Мгц* диам. 12′; ист. излуч. OH.
498 Обл. H II, опт. разм. 170′×55′, на част. 1420 *Мгц* два комп.: 34′ (80% потока) и 3′ (20%); ист. излуч. OH.
504 Обл. H II, опт. разм. 110′×80′, на част. 960 *Мгц* диам. 1°,4, на 2700 *Мгц* — 15′.
508 Неск. отд. источников, один преобл. (во всяком случае на $\nu \geqslant 1000$ *Мгц*), совп. с началом новой галакт. сист. координат.
513 M 20 — «Трехдольная» тум. H II и нетепл. ист., размер 35′×20′ на част. 1430 *Мгц*.
517 M 8 (Lagoon), опт. разм. 60′×35′.
519 H II, опт. разм. 120′×30′, на част. 2700 *Мгц* — 30′×15′.
523 H II, опт. разм. 60′×60′, на част. 2700 *Мгц* — 13′×11′, источн. изл. OH.
526 H II, диам. 140′, на част. 960 *Мгц* — 0°,8.
527 H II, диам. 25′, на част. 960 *Мгц* 15′×15′.
528 M 17, H II («Омега»), опт. разм. 70′×60′, на част. 960 *Мгц* — 4′,5.
553 Источн. излуч. OH.
556 Ост. SN?
571 H II, диам. 40′, на част. 1420 *Мгц* два комп.: $d = 40'$ (88% потока) и 3′ (12%).
601 Часть источника рентген. лучей Лебедь XR-1.
607 H II, часть ист. Лебедь XR-1. $d = 180'$, на част. 960 *Мгц* — 1°,8×0°,6.
611 H II, часть ист. Лебедь XR-1, на част. 960 *Мгц* $d = 1°,2$.
613 H II, Симеиз 207, опт. 64′×56′, часть ист. Лебедь XR-1.
617 H II, часть ист. Лебедь XR-1.
621 Симеиз 218, опт. разм. 30′×22′, часть ист. Лебедь XR-1, источн. изл. OH.
628 Ост. SN? — слаб. волокна туманности с центром в очень широкой обл. H II.
630 Ост. SN II, опт. $d = 30'$. «Петля в Лебеде».
636 H II между NGC 7000 («Северная Америка») и IC 5067—70 («Пеликан») на част 178 *Мгц*, $d = 1°,8$.
698 Ост. SN II 369 года. 200 небольш. конденсаций с V_r от —4000 до +6000 *км/сек*.

Таблица 36б

Внегалактические источники радиоизлучения

В таблицу включены наиболее яркие источники (с потоками больше $1,5 \times 10^{-24}$ *вт/м²гц* на одной из частот: 178, 400, 1400, ~3000 *Мгц*), а также ряд замечательных источников. Столбцы таблицы соответствуют аналогичным столбцам предыдущей таблицы. Потоки даны в единицах 10^{-26} *вт/м²гц*.

GC	3C	α_{1950}	δ_{1950}	Потоки				Созв.	Идентификация
				178	400	1400	3000		
		h m							
27	—	0 40,2	+40° 57′	200	80	20	—	And A	NGC 224
	84	3 13,5	+41 20	62,6	20	14,1	10 *	Per A	NGC 1275
	120	4 30,5	+05 15	6,7	5,5	4,5	5 *	Tau	
155	123	4 33,9	+29 34	180	100	45	20	Tau	
302	218	9 15,7	−11 53	210	130	40	20	Hya A	
	231	9 51,7	+69 55,2	13	—	8,7	5,6	UMa	M 82
	273	12 26,5	+02 19,5	72	55	41 *	38 *	Vir	
379	274	12 28,3	+12 39	1050	480	200	100	Vir A	NGC 4486
	279	12 53,5	−05 31	20,5	13,5	10,4 *	11,2 *	Vir	
405	—	13 22,6	−42 46	—	600	1830	200	Cen A	NGC 5128
	295	14 09,5	+52 28	78,8	51	24	11,8	Boo	
489	348	16 48,7	+05 05	350	160	50	20	Her A	
496	353	17 17,9	−00 56	180	140	50	30	Oph	
591	405	19 57,8	+40 35	8300	4100	1400	600	Cyg A	
	454.3	22 51,5	+18 54	16,2	15,8	12,8	10 *	Peg	
	CTA 102	22 30,1	+11 28	5,1	7,1	6,7	5	Peg	

Примечания:

27 М 31, Туманность Андромеды. Опт. разм. 200′×90′.

3C 84 Сейфертовская галактика 12^m. $R \sim 65$ *Мпс*. Имеется по крайней мере 4 компонента; с оптическим ядром совпадает компактный источник сантиметрового излуч. Оптически ядро переменное.

3C 120 N — галактика 17^m, оптически переменная, $z=0,032$.

155 На част. 1420 *Мгц* 2 комп. диам. по 5″ на расст. 12″,5.

302 Тесная двойная гал. Е, $\sim 16^m$, $z=0,053$.

3C 231 М 82, знаменитая взрывающаяся гал. с мощным оптич. синхротронным поляризов. излучением.

3C 273 Квазар, $z=0,158$, $m=12^m$. Два компонента на расст. 20″; в одном из них источн. с угл. разм. < 0″,0001.

379 М 87, гал. 10^m, Е2 в скопл. Девы. $z=0,041$ (знаменитый выброс разм. 20″ с частичной поляриз., опт. излуч.).

3C 279 Квазар, $z=0,538$, $m_V=17^m,5$.

405 Пекул. гал. $\sim 7^m$, эмисс., $z=0,015$, в центре 2 комп. диаметром 3,5 *кпс* на расст. 8 *кпс* друг от друга, + крупномасштабная структура ~ 1000 *кпс*. Сильная линейная поляризация радиоизлучения.

3C 295 Гал. $20^m,9$, $z=0,461$. Наибольшая радиосветимость среди галактик.

489 Гал. Е1 (или S0) 18^m, диам. 4″, $z=0,154$.

496 Гал. 15^m, на расст. ~65 *Мпс*.

591 Гал. $15^m,3$ с эмисс. спектром, разм. 18″×30″, $z=0,057$.

3C 454.3 Квазар, $z=0,895$.

CTA 102 Квазар $17^m,3$, $z=1,037$.

* — переменный поток радиоизлучения. Все квазары, включенные в табл., оптически переменные.

Таблица 37

Переход от экваториальных координат (α, δ) к галактическим (l, b) в новой системе галактических координат

Северное полушарие

α \ δ		+90° l	+90° b	+80° l	+80° b	+70° l	+70° b	+60° l	+60° b	+50° l	+50° b	+40° l	+40° b	+30° l	+30° b	+20° l	+20° b	+10° l	+10° b	0° l	0° b
h	m																				
0	0	123°	+27°	121°	+18°	119°	+8°	117°	−2°	115°	−12°	113°	−22°	111°	−31°	108°	−41°	104°	−51°	98°	−60°
	20	123	+27	122	+17	120	+8	119	−2	118	−12	117	−22	116	−32	113	−42	111	−52	108	−62
	40	123	+27	123	+17	122	+7	122	−3	122	−13	121	−23	121	−33	120	−43	119	−53	118	−63
1	0	123	+27	124	+17	124	+7	124	−3	125	−13	125	−23	126	−33	127	−43	127	−53	129	−62
	20	123	+27	124	+17	126	+8	127	−2	128	−12	129	−22	131	−32	133	−42	135	−52	139	−62
	40	123	+27	125	+18	127	+8	129	−2	131	−12	133	−22	136	−31	139	−41	143	−51	149	−60
2	0	123	+27	126	+18	129	+8	132	−1	135	−11	137	−21	141	−30	145	−40	150	−49	158	−58
	20	123	+27	127	+18	131	+9	134	−1	138	−10	141	−19	145	−29	150	−38	157	−47	165	−55
	40	123	+27	128	+18	132	+9	136	0	141	−9	145	−18	150	−27	156	−36	163	−44	172	−52
3	0	123	+27	129	+19	134	+10	139	+1	144	−7	149	−16	154	−25	160	−33	168	−41	177	−48
	20	123	+27	129	+19	135	+11	141	+3	146	−6	152	−14	158	−22	165	−30	173	−38	182	−45
	40	123	+27	130	+20	137	+12	143	+4	149	−4	155	−12	162	−20	169	−27	177	−34	187	−41
4	0	123	+27	131	+20	138	+13	145	+6	151	−2	158	−9	165	−17	172	−24	181	−31	190	−37
	20	123	+27	132	+21	139	+14	147	+7	154	0	161	−7	168	−14	176	−20	184	−27	194	−33
	40	123	+27	132	+22	140	+16	148	+9	156	+3	163	−4	171	−10	179	−17	188	−23	197	−28
5	0	123	+27	133	+22	142	+17	150	+11	158	+5	166	−1	174	−7	182	−13	191	−19	200	−24
	20	123	+27	133	+23	142	+19	151	+13	160	+8	168	+2	176	−4	185	−9	193	−15	202	−20
	40	123	+27	133	+24	143	+20	153	+15	162	+11	170	+5	179	0	187	−5	196	−10	205	−15
6	0	123	+27	134	+25	144	+22	154	+18	163	+13	172	+9	181	+4	190	−1	198	−6	207	−11
	20	123	+27	134	+26	145	+23	155	+20	165	+16	174	+12	183	+8	192	+3	201	−2	210	−6
	40	123	+27	134	+27	145	+25	156	+22	166	+19	176	+16	185	+12	194	+7	203	+3	212	−2
7	0	123	+27	134	+27	145	+27	156	+25	167	+22	177	+19	187	+15	196	+11	205	+7	214	+2

α \ δ		+90°		+80°		+70°		+60°		+50°		+40°		+30°		+20°		+10°		0°	
h	m	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*
7	0	123°	+27°	134°	+27°	145°	+27°	156°	+25°	167°	+22°	177°	+19°	187°	+15°	196°	+11°	205°	+7°	214°	+2°
	20	123	+27	134	+28	146	+28	157	+27	168	+25	178	+23	189	+20	198	+16	208	+11	217	+7
	40	123	+27	134	+29	146	+30	157	+30	169	+29	180	+26	190	+24	200	+20	210	+16	219	+11
8	0	123	+27	134	+30	146	+32	157	+32	169	+32	181	+30	192	+28	202	+24	212	+20	221	+16
	20	123	+27	134	+31	145	+33	157	+35	169	+35	181	+34	193	+32	204	+29	214	+25	224	+20
	40	123	+27	133	+32	145	+35	157	+37	169	+38	182	+38	194	+36	206	+33	217	+29	225	+24
9	0	123	+27	133	+32	144	+37	156	+40	169	+41	182	+42	196	+40	208	+38	219	+34	229	+29
	20	123	+27	132	+33	143	+38	155	+42	169	+45	183	+45	197	+44	210	+42	222	+38	233	+33
	40	123	+27	132	+34	142	+40	154	+44	168	+48	182	+49	198	+49	212	+46	225	+42	236	+37
10	0	123	+27	131	+35	141	+41	152	+47	166	+51	182	+53	199	+53	214	+51	228	+47	240	+41
	20	123	+27	130	+35	139	+42	150	+49	164	+54	181	+57	199	+57	217	+55	232	+51	244	+45
	40	123	+27	130	+36	138	+44	148	+51	162	+57	179	+61	200	+62	220	+60	237	+55	249	+49
11	0	123	+27	129	+36	136	+45	145	+52	158	+59	177	+64	200	+66	224	+64	242	+59	255	+52
	20	123	+27	128	+37	134	+46	142	+54	154	+62	173	+68	200	+70	228	+68	248	+63	261	+55
	40	123	+27	127	+37	131	+46	138	+55	149	+64	167	+71	199	+75	234	+73	257	+66	269	+58
12	0	123	+27	126	+37	129	+47	134	+56	142	+66	159	+74	196	+79	244	+77	267	+69	278	+60
	20	123	+27	125	+37	127	+47	130	+57	135	+67	147	+76	189	+83	260	+80	280	+71	288	+62
	40	123	+27	123	+37	124	+47	125	+57	127	+67	131	+77	160	+87	287	+82	296	+72	298	+63
13	0	123	+27	122	+37	122	+44	120	+57	118	+67	113	+77	81	+86	322	+82	312	+72	309	+62
	20	123	+27	121	+37	119	+47	116	+57	110	+67	98	+76	56	+83	348	+80	327	+71	319	+62
	40	123	+27	120	+37	117	+47	112	+56	103	+65	86	+74	49	+79	3	+76	340	+69	329	+60
14	0	123	+27	119	+37	114	+46	108	+55	97	+64	78	+71	47	+74	12	+72	350	+66	338	+58
	20	123	+27	118	+37	112	+45	104	+54	92	+62	73	+67	46	+70	18	+68	358	+62	345	+55
	40	123	+27	117	+36	110	+45	101	+52	87	+59	69	+64	46	+66	23	+64	5	+59	352	+52

α \ δ		+90°		+80°		+70°		+60°		+50°		+40°		+30°		+20°		+10°		+0°	
h	m	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*
15	0	123°	+27°	116°	+36°	108°	+43°	98°	+51°	84°	+56°	66°	+60°	46°	+61°	26°	+59°	10°	+55°	357°	+48°
	20	123	+27	116	+35	107	+42	95	+49	82	+53	65	+56	47	+57	29	+55	14	+50	2	+45
	40	123	+27	115	+24	105	+41	94	+46	80	+50	64	+53	47	+53	32	+50	18	+46	7	+41
16	0	123	+27	114	+34	104	+40	92	+44	78	+47	63	+49	48	+48	34	+46	21	+42	10	+37
	20	123	+27	114	+33	103	+38	91	+42	77	+44	63	+45	49	+44	36	+42	24	+38	14	+33
	40	123	+27	113	+32	102	+36	90	+39	77	+41	64	+41	51	+40	38	+37	27	+33	17	+28
17	0	123	+27	113	+32	101	+35	89	+37	77	+38	64	+37	52	+36	40	+33	30	+29	20	+24
	20	123	+27	112	+31	101	+33	89	+35	77	+35	65	+34	53	+31	42	+28	32	+24	22	+20
	40	123	+27	112	+30	100	+32	89	+32	77	+31	66	+30	54	+27	44	+24	34	+20	25	+15
18	0	123	+27	112	+29	100	+30	89	+30	78	+28	67	+26	56	+23	46	+20	36	+15	27	+11
	20	123	+27	112	+28	100	+28	89	+27	78	+25	68	+22	58	+19	48	+15	39	+11	30	+6
	40	123	+27	112	+27	101	+26	90	+25	79	+22	69	+19	59	+15	50	+11	41	+7	32	+2
19	0	123	+27	112	+26	101	+25	90	+22	80	+19	71	+15	61	+11	52	+7	43	+2	34	−2
	20	123	+27	112	+26	101	+23	91	+20	82	+16	72	+12	63	+7	54	+3	45	−2	37	−7
	40	123	+27	112	+25	102	+21	92	+17	83	+13	74	+8	65	+3	57	−2	48	−6	39	−11
20	0	123	+27	113	+24	103	+20	93	+15	85	+10	76	+5	67	0	59	−6	50	−11	41	−16
	20	123	+27	113	+23	104	+18	95	+13	86	+8	78	+2	70	−4	62	−10	53	−15	44	−20
	40	123	+27	113	+22	105	+17	96	+11	88	+5	80	−1	72	−7	64	−13	56	−19	47	−24
21	0	123	+27	114	+22	106	+16	98	+9	90	+3	83	−4	75	−11	67	−17	59	−23	49	−29
	20	123	+27	115	+21	107	+14	100	+7	92	0	85	−7	78	−14	70	−21	62	−27	53	−33
	40	123	+27	115	+20	108	+13	101	+6	95	−2	88	−10	81	−17	74	−24	66	−31	56	−37
22	0	123	+27	116	+20	109	+12	103	+4	97	−4	91	−12	85	−20	78	−27	69	−35	60	−41
	20	123	+27	117	+19	111	+11	105	+3	100	−6	94	−14	88	−22	82	−30	74	−38	64	−45
	40	123	+27	117	+19	112	+10	108	+1	103	−7	98	−16	92	−25	86	−33	79	−41	69	−49
23	0	123	+27	118	+18	114	+9	110	0	106	−9	101	−18	97	−27	91	−36	84	−44	75	−52
	20	123	+27	119	+18	115	+9	112	−1	109	−10	105	−19	101	−29	96	−38	90	−47	81	−55
	40	123	+27	120	+18	117	+8	114	−1	112	−11	109	−21	106	−30	102	−40	97	−49	89	−57
0	0	123	+27	121	+18	119	+8	117	−2	115	−12	113	−22	111	−31	108	−41	104	−51	98	−60

Южное полушарие

α h	m	δ −90° l	b	−80° l	b	−70° l	b	−60° l	b	−50° l	b	−40° l	b	−30° l	b	−20° l	b	−10° l	b	0° l	b
0	0	303°	−27°	306°	−37°	309°	−47°	314°	−56°	322°	−66°	339°	−74°	16°	−79°	64°	−77°	87°	−69°	98°	−60°
	20	303	−27	305	−37	307	−47	310	−57	315	−67	327	−76	9	−83	80	−80	100	−71	108	−62
	40	303	−27	303	−37	304	−47	305	−57	307	−67	311	−77	340	−87	107	−82	116	−72	118	−63
1	0	303	−27	302	−37	302	−47	300	−57	298	−67	293	−77	261	−86	142	−82	132	−72	129	−62
	20	303	−27	301	−37	299	−47	296	−57	290	−67	278	−76	236	−83	168	−80	147	−71	139	−62
	40	303	−27	300	−37	297	−47	292	−56	283	−65	266	−74	229	−79	183	−76	160	−69	149	−60
2	0	303	−27	299	−37	294	−46	289	−55	277	−63	258	−71	227	−74	192	−72	170	−66	158	−58
	20	303	−27	298	−37	292	−45	284	−54	272	−62	253	−67	226	−70	198	−68	178	−62	165	−55
	40	303	−27	297	−36	290	−45	281	−52	267	−59	249	−64	226	−66	203	−64	185	−59	172	−52
3	0	303	−27	296	−36	288	−43	278	−51	264	−56	246	−60	226	−61	206	−59	190	−55	177	−48
	20	303	−27	296	−35	287	−42	275	−49	262	−53	245	−56	227	−57	209	−55	194	−51	182	−45
	40	303	−27	295	−34	285	−41	274	−46	260	−50	244	−53	227	−53	212	−50	198	−46	187	−41
4	0	303	−27	294	−34	284	−40	272	−44	258	−47	243	−49	228	−48	214	−46	201	−42	190	−37
	20	303	−27	294	−33	283	−38	271	−42	257	−44	243	−45	229	−44	216	−41	204	−38	194	−33
	40	303	−27	293	−32	282	−36	270	−39	257	−41	244	−41	231	−40	218	−37	207	−33	197	−28
5	0	303	−27	293	−32	281	−35	269	−37	257	−38	244	−37	232	−36	220	−33	210	−29	200	−24
	20	303	−27	292	−31	281	−33	269	−35	257	−35	245	−34	233	−31	222	−28	212	−24	202	−20
	40	303	−27	292	−30	280	−32	269	−32	257	−31	246	−30	234	−27	224	−24	214	−20	205	−15
6	0	303	−27	292	−29	280	−30	269	−30	258	−28	247	−26	236	−23	226	−20	216	−15	207	−11
	20	303	−27	292	−28	280	−28	269	−27	258	−25	248	−22	238	−19	228	−15	219	−11	210	− 6
	40	303	−27	292	−27	281	−26	270	−25	259	−22	249	−19	239	−15	230	−11	221	−7	212	− 2
7	0	303	−27	292	−26	281	−25	270	−22	260	−19	251	−15	241	−11	232	−7	223	−2	214	+2
	20	303	−27	292	−26	281	−23	271	−20	262	−16	252	−12	243	−7	234	−3	225	+2	217	+7
	40	303	−27	292	−25	282	−21	272	−17	263	−13	254	−8	245	−3	237	+2	228	+6	219	+11

Продолжение табл. 37

α \ δ		−90°		−80°		−70°		−60°		−50°		−40°		−30°		−20°		−10°		0°	
h	m	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*
8	0	303°	−27°	293°	−24°	283°	−20°	273°	−15°	265°	−10°	256°	−5°	247°	0°	239°	+6°	230°	+11°	221°	+16°
	20	303	−27	293	−23	284	−18	275	−13	266	−8	258	−2	250	+4	242	+10	233	+15	224	+20
	40	303	−27	293	−22	285	−17	276	−11	268	−5	260	+1	252	+7	244	+13	236	+19	227	+24
9	0	303	−27	294	−22	286	−16	278	−9	270	−3	263	+4	255	+11	247	+17	239	+23	229	+29
	20	303	−27	295	−21	287	−14	280	−7	272	0	265	+7	258	+14	250	+21	242	+27	233	+33
	40	303	−27	295	−20	288	−13	281	−6	275	+2	268	+10	261	+17	254	+24	246	+31	236	+27
10	0	303	−27	296	−20	289	−12	283	−4	277	+4	271	+12	265	+20	258	+27	249	+35	240	+41
	20	303	−27	297	−19	291	−11	285	−3	280	+6	274	+14	268	+22	262	+30	254	+38	244	+45
	40	303	−27	297	−19	292	−10	288	−1	283	+7	278	+16	272	+25	266	+33	259	+41	249	+49
11	0	303	−27	298	−18	294	−9	290	0	286	+9	281	+18	277	+27	271	+36	264	+44	255	+52
	20	303	−27	299	−18	295	−9	292	+1	289	+10	285	+19	281	+29	276	+38	270	+47	261	+55
	40	303	−27	300	−18	297	−8	294	+1	292	+11	289	+21	286	+30	282	+40	277	+49	269	+58
12	0	303	−27	301	−18	299	−8	297	+2	295	+12	293	+22	291	+31	288	+41	284	+51	278	+60
	20	303	−27	302	−17	300	−8	299	+2	298	+12	297	+22	296	+32	294	+42	291	+52	288	+62
	40	303	−27	303	−17	302	−7	302	+3	302	+13	301	+23	301	+33	300	+43	299	+53	298	+63
13	0	303	−27	304	−17	304	−7	304	+3	305	+13	305	+23	306	+33	307	+43	307	+53	309	+62
	20	303	−27	304	−17	306	−8	307	+2	308	+12	309	+22	311	+32	313	+42	315	+52	319	+62
	40	303	−27	305	−18	307	−8	309	+2	311	+12	313	+22	316	+31	319	+41	323	+51	329	+60
14	0	303	−27	306	−18	309	−8	311	+1	315	+11	317	+21	321	+30	325	+40	330	+49	338	+58
	20	303	−27	307	−18	311	−9	314	+1	318	+10	321	+19	325	+29	330	+38	337	+47	345	+55
	40	303	−27	308	−18	312	−9	316	0	321	+9	325	+18	330	+27	336	+36	343	+44	352	+52
15	0	303	−27	309	−19	314	−10	319	−1	324	+7	329	+16	334	+25	340	+33	348	+41	357	+48
	20	303	−27	309	−19	315	−11	321	−3	326	+6	332	+14	338	+22	345	+30	353	+38	2	+45
	40	303	−27	310	−20	317	−12	323	−4	329	+4	335	+12	342	+20	349	+27	357	+34	7	+41

δ / α	−90° l	−90° b	−80° l	−80° b	−70° l	−70° b	−60° l	−60° b	−50° l	−50° b	−40° l	−40° b	−30° l	−30° b	−20° l	−20° b	−10° l	−10° b	0° l	0° b
h m																				
16 0	303°	−27°	311°	−20°	318°	−13°	325°	−6°	331°	+2°	338°	+9°	345°	+17°	352°	+24°	1	+31°	10°	+37°
20	303	−27	312	−21	319	−14	327	−7	334	0	341	+7	348	+14	356	+20	4	+27	14	+33
40	303	−27	312	−22	320	−16	328	−9	336	−3	343	+4	351	+10	359	+17	8	+23	17	+28
17 0	303	−27	313	−22	322	−17	330	−11	338	−5	346	+1	354	+7	2	+13	11	+19	20	−24
20	303	−27	313	−23	322	−19	331	−13	340	−8	348	−2	356	+4	5	+9	13	+15	22	+20
40	303	−27	313	−24	323	−20	333	−15	342	−11	350	−5	359	0	7	+5	16	+10	25	+15
18 0	303	−27	314	−25	324	−22	334	−18	343	−13	352	−8	1	−4	10	+1	18	+6	27	+11
20	303	−27	314	−26	325	−23	335	−20	345	−16	354	−12	3	−8	12	−3	21	+2	30	+6
40	303	−27	314	−27	325	−25	336	−22	346	−18	356	−16	5	−12	14	−7	23	−3	32	+2
19 0	303	−27	314	−27	325	−27	336	−25	347	−22	357	−19	7	−15	16	−11	25	−7	34	−2
20	303	−27	314	−28	326	−28	337	−27	348	−25	358	−23	9	−20	18	−16	28	−11	37	−7
40	303	−27	314	−29	326	−30	337	−30	349	−29	0	−26	10	−24	20	−20	30	−16	39	−11
20 0	303	−27	314	−30	326	−32	337	−32	349	−32	1	−30	12	−28	22	−24	32	−20	41	−16
20	303	−27	314	−31	325	−33	337	−35	349	−35	1	−34	13	−32	24	−29	34	−25	44	−20
40	303	−27	313	−32	325	−35	337	−37	349	−38	2	−38	14	−36	26	−33	37	−29	47	−24
21 0	303	−27	313	−32	324	−37	336	−40	349	−41	2	−42	16	−40	28	−38	39	−34	49	−29
20	303	−27	312	−33	323	−38	335	−42	349	−45	3	−45	17	−44	30	−42	42	−38	53	−33
40	303	−27	312	−34	322	−40	334	−44	348	−48	2	−49	18	−49	32	−46	45	−42	56	−37
22 0	303	−27	311	−35	321	−41	332	−47	346	−51	2	−53	19	−53	34	−51	48	−47	60	−41
20	303	−27	310	−35	319	−42	330	−49	344	−54	1	−57	19	−57	37	−55	52	−51	64	−45
40	303	−27	310	−36	318	−44	328	−51	342	−57	359	−61	20	−62	40	−60	57	−55	69	−49
23 0	303	−27	309	−36	316	−45	325	−52	338	−59	357	−64	20	−66	44	−64	62	−59	75	−52
20	303	−27	308	−37	314	−46	322	−54	334	−62	353	−68	20	−70	48	−68	68	−63	81	−55
40	303	−27	307	−37	311	−46	318	−55	329	−64	347	−71	19	−75	54	−73	77	−66	89	−58
0 0	303	−27	306	−37	309	−47	314	−56	322	−66	339	−74	16	−79	64	−77	87	−69	98	−60

Таблица 38

Относительная спектральная чувствительность глаза

Длина волны в Å	Дневное зрение (колбочки)	Ночное зрение (палочки)	Длина волны в Å	Дневное зрение (колбочки)	Ночное зрение (палочкп)
3800	0,00004	—	5800	0,870	0,140
3900	0,00012	—	5900	0,757	0,083
4000	0,0004	0,0185	6000	0,631	0,0490
4100	0,0012	0,040	6100	0,503	0,0300
4200	0,0040	0,076	6200	0,381	0,0175
4300	0,0116	0,132	6300	0,265	0,0100
4400	0,023	0,213	6400	0,175	0,0058
4500	0,038	0,302	6500	0,107	0,0032
4600	0,060	0,406	6600	0,061	0,0017
4700	0,091	0,520	6700	0,032	0,00087
4800	0,139	0,650	6800	0,017	0,00044
4900	0,208	0,770	6900	0,0082	0,00021
5000	0,323	0,900	7000	0,0041	0,00010
5100	0,503	0,985	7100	0,0021	—
5200	0,710	0,960	7200	0,00105	—
5300	0,862	0,840	7300	0,00052	—
5400	0,954	0,680	7400	0,00025	—
5500	0,995	0,500	7500	0,00012	—
5600	0,995	0,350	7600	0,00006	—
5700	0,952	0,228	7700	0,00003	—

Таблица 39

Основные линии солнечного спектра, наблюдаемого с поверхности Земли

Обознач.	λ в Å	Интенс.	Элемент	Цвет	Обознач.	λ в Å	Интенс.	Элемент	Цвет
A	7621,3	3—25	O_2 *)	к					
	7594,1	?	*)	к	F(H_β)	4861,344	30	H	г
a	7184,6	?	H_2O *)	к		4404,763	10	Fe	c
B	6870,2	0—15	O_2 *)	к	d	4383,559	15	Fe	c
C(H_α)	6562,816	40	H	к	G(H_γ)	4340,477	20	H	ф
α	6278,1	?	. . .	о	f	4325,8	8	Fe	ф
D_1	5895,944	20	Na	ж	G	4307,914	6	Fe, Ti^+	ф
D_2	5889,977	30	Na	ж		4307,749	3	Ca	ф
D_3	5875,618	2	He **)	ж	g	4226,742	20	Ca	ф
	5316,8	2	Fe^+ ***)	з	h(H_δ)	4101,750	40	H	ф
	5316,6	4	Sc, Fe^+	з		4101,685	3	Fe	ф
E_1	5270,3	7	Fe, Ca	з		4063,607	20	Fe	ф
E_2	5269,56	8	Fe	з		4045,827	30	Fe	ф
b_1	5183,621	30	Mg	з	H	3968,494	700	Ca^+	ф
b_2	5172,700	20	Mg	з	K	3933,684	1000	Ca^+	ф
b_3	5169,0	4	Fe^+	з	L	3820,438	25	Fe, C	ф
b_4	5167,510	5	Fe	з	M	3734,876	40	Fe	ф
	5167,330	15	Mg	з	N	3581,210	30	Fe	ф

*) Теллурические линии (линии поглощения земной атмосферы, от слова Telluris — Земля); их интенсивность зависит от состояния атмосферы.

**) Линия, испускаемая только хромосферой.

***) + обозначает однажды ионизованный атом.

ПРИЛОЖЕНИЯ

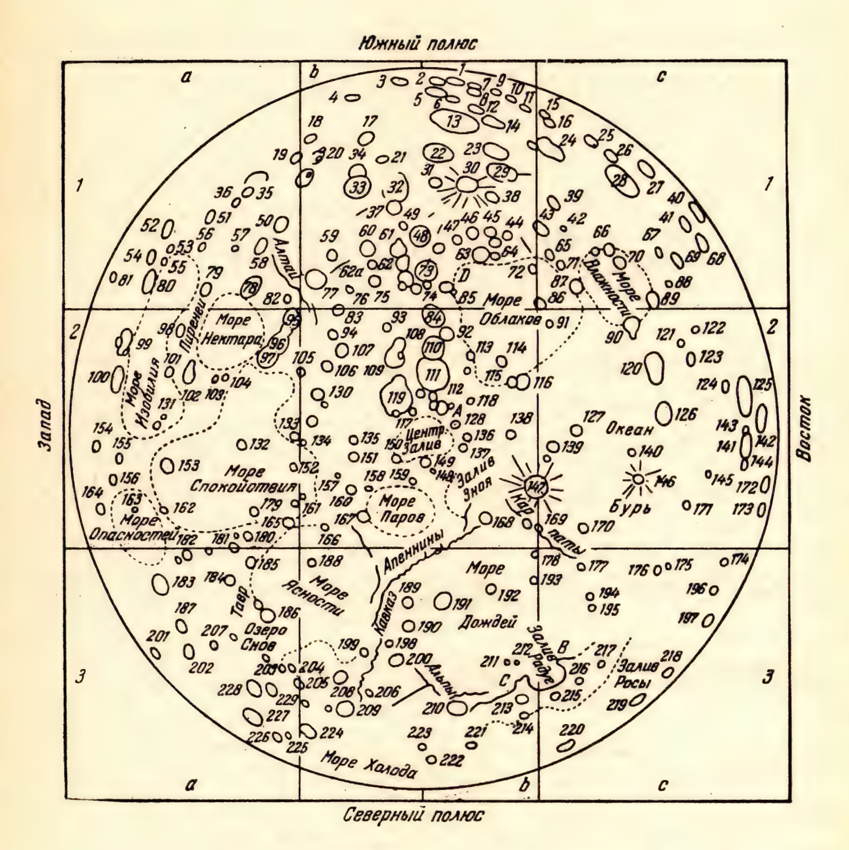


Рис. 193. Карта деталей лунной поверхности.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

КАТАЛОГ ДЕТАЛЕЙ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

(рис. 193)

		Квадрат
Море Влажности	Mare Humorum	c 1
Море Облаков	Mare Nubium	b 2
Море Нектара	Mare Nectaris	a 2
Море Изобилия	Mare Foecunditatis	a 2
Море Спокойствия	Mare Tranquillitatis	a 2
Море Кризисов	Mare Crisium	a 2
Море Ясности	Mare Serenitatis	b 3
Море Паров	Mare Vaporum	b 2
Море Дождей	Mare Imbrium	b 3
Океан Бурь	Oceanus Procellarum	c 2
Море Холода	Mare Frigoris	b 3
Центральный Залив	Sinus Medii	b 2
Залив Зноя	Sinus Aestuum	b 2
Залив Радуги	Sinus Iridum	c 3
Залив Росы	Sinus Roris	c 3
Озеро Снов	Lacus Somniorum	a 3
Горы Пиренеи	Montes Pyrenaee	a 2
Горы Алтай	Montes Altai	a 1
Горы Карпаты	Montes Carpates	c 3
Горы Апеннины	Montes Apenninae	b 3
Горы Кавказ	Montes Caucasus	b 3
Горы Тавр	Montes Taurus	a 3
Горы Альпы	Montes Alpes	b 3
Мыс Геркулеса	Cap Heraclides (B)	c 3
Мыс Лапласа	Cap Laplace (C)	b 3

Кольцевые горы (кратеры)

№	Название	Квадрат	№	Название	Квадрат	№	Название	Квадрат
1	Ньютон	b 1	25	Фоциклид	c 1	49	Нониус	b 1
2	Шорты	b 1	26	Варгентин	c 1	50	Риччи	a 1
3	Симпелий	b 1	27	Ингирами	c 1	51	Рейта	a 1
4	Манзин	b 1	28	Шиккард	c 1	52	Фурнерий	a 1
5	Морет	b 1	29	Вильгельм	b 1	53	Стевин	a 1
6	Грумбергер	b 1	30	Тихо	b 1	54	Газе	a 1
7	Казат	b 1	31	Соссюр	b 1	55	Снеллий	a 1
8	Клапрот	b 1	32	Штефлер	b 1	56	—	a 1
9	Вильсон	b 1	33	Мавролик	b 1	57	Неандр	a 1
10	Кирхер	b 1	34	Бароций	b 1	58	Пикколомини	a 1
11	Беттин	b 1	35	Фабриций	a 1	59	Понтан	b 1
12	Бланкан	b 1	36	Меций	a 1	60	Пуассон	b 1
13	Клавий	b 1	37	Фернелий	b 1	61	Алиацен	b 1
14	Шейнер	b 1	38	Гензий	b 1	62	Вернер	b 1
15	Цухий	c 1	39	Гайнзель	c 1	62a	Апиан	b 1
16	Сегнер	c 1	40	Бувар	c 1	63	Питат	b 1
17	Бэкон	b 1	41	Пиацци	c 1	64	Гезиод	b 1
18	Неарх	b 1	42	Рамсден	c 1	65	Меркатор	c 1
19	Влакк	a 1	43	Капуан	c 1	66	Вителло	c 1
20	Гоммель	b 1	44	Цих	b 1	67	Фурье	c 1
21	Лицет	b 1	45	Вюрцельбауэр	b 1	68	Лагранж	c 1
22	Магин	b 1	46	Гаурик	b 1	69	Виета	c 1
23	Лонгомонтан	b 1	47	Хэлл	b 1	70	Доппельмайер	c 1
24	Шиллер	c 1	48	Вальтер	b 1	71	Кампан	c 1

№	Название	Квадрат	№	Название	Квадрат	№	Название	Квадрат
72	Кис	b 1	126	Флемстид	c 2	180	Витрувий	a 2
73	Пурбах	b 1	127	Ландсберг	c 2	181	Маральди	a 2
74	Лакайль	b 1	128	Мёстинг	b 2	182	Макробий	a 3
75	Плейфер	b 1	129	Деламбр	b 2	183	Клеомед	a 3
76	Азофи	b 1	130	Тэйлор	b 2	184	Рёмер	a 3
77	Сакробоско	b 1	131	Мессье	a 2	185	Литтров	a 2
78	Фракастор	a 1	132	Маскелайн	a 2	186	Посидоний	a 3
79	Сантбек	a 1	133	Сабин	a 2	187	Гемин	a 3
80	Петавий	a 1	134	Риттер	b 2	188	Бессель	b 3
81	Гумбольд	a 1	135	Годин	b 2	189	Автолик	b 3
82	Полибий	a 1	136	Зоммеринг	b 2	190	Аристилл	b 3
83	Гебер	b 2	137	Шрётер	b 2	191	Архимед	b 3
84	Арзахель	b 2	138	Гамбар	b 2	192	Тимохарис	b 3
85	Фебит	b 1	139	Рейнгольд	c 2	193	Ламберт	b 3
86	Буллиальд	c 1	140	Энке	c 2	194	Диофант	b 3
87	Гиппал	c 1	141	Гевелий	c 2	195	Делиль	c 3
88	Кавендиш	c 1	142	Риччиоли	c 2	196	Бригг	c 3
89	Мерсенн	c 1	143	Лорманн	c 2	197	Лихтенберг	c 3
90	Гассенди	c 2	144	Кавалерий	c 2	198	Фетас	c 3
91	Любинецкий	c 2	145	Рейнер	c 2	199	Калипп	b 3
92	Альпетрагий	b 2	146	Кеплер	c 2	200	Кассини	b 3
93	Эри	b 2	147	Коперник	c 2	201	Гаусс	b 3
94	Аль Манун	b 2	148	Боде	b 2	202	Мессала	a 3
95	Катарина	a 2	149	Паллас	b 2	203	Струве	a 3
96	Кирилл	a 2	150	Триснеккер	b 2	203a	Мазон	a 3
97	Феофил	a 2	151	Агриппа	b 2	204	Плана	a 3
98	Колумб	a 2	152	Араго	a 2	205	Бюрг	a 3
99	Венделин	a 2	153	Тарунций	a 2	206	Эгеде	b 3
100	Лангрен	a 2	154	Шуберт	a 2	207	Бэйли	a 3
101	Гоклен	a 2	155	Аполлоний	a 2	208	Эвдокс	b 3
102	Гуттенберг	a 2	156	Фирминик	a 2	209	Аристотель	b 3
103	Исидор	a 2	157	Зильбершлаг	b 2	210	Платон	b 3
104	Капелла	a 2	158	Гигинус	b 2	211	Леверрье	b 3
105	Кант	a 2	159	Укерт	b 2	212	Геликон	b 3
106	Декарт	b 2	160	Боскович	b 2	213	Мопертюи	b 3
107	Абу-л-Фида	b 2	161	Росс	a 2	214	Кондамин	b 3
108	Парро	b 2	162	Прокл	a 2	215	Бианчини	c 3
109	Аль-Баттани	b 2	163	Пикар	a 2	216	Шарп	c 3
110	Альфонс	b 2	164	Кондорсе	a 2	217	Майран	c 3
111	Птолемей	b 2	165	Плиний	a 2	218	Жерар	c 3
112	Гершель	b 2	166	Менелай	b 2	219	Репсольд	c 3
113	Дэви	b 2	167	Манилий	b 2	220	Пифагор	c 3
114	Герике	b 2	168	Эратосфен	b 2	221	Фонтенель	b 3
115	Пэрри	b 2	169	Гей-Люссак	c 2	222	Эпиген	b 3
116	Бонплан	b 2	170	Майер	c 2	223	Тимей	b 3
117	Реомюр	b 2	171	Марий	c 2	224	Гертнер	b 3
118	Лаланд	b 2	172	Ольберс	c 2	225	Фалес	a 3
119	Гиппарх	b 2	173	Васко да Гама	c 3	226	Страбон	a 3
120	Летрон	c 2	174	Селевк	c 3	227	Эндимион	a 3
121	Билли	c 2	175	Геродот	c 3	228	Атлас	a 3
122	Фонтана	c 2	176	Аристарх	c 3	229	Геркулес	a 3
123	Ганстин	c 2	177	Ла Гир	c 3	A	Мёстинг A	b 2
124	Дамуазо	c 2	178	Пифей	b 3	D	«Прямая стена»	b 1
125	Гримальди	c 2	179	Жансен	a 2			

ПРИЛОЖЕНИЕ II

КАТАЛОГ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

(указаны ареографические координаты; см. рис. 194)

Acidalium Mare (30°, +45°)
Aeolis (215°, —5°)
Aeria (310°, +10°)
Aetheria (230°, +40°)
Aethiopis (230°, +10°)
Amazonis (140°, 0°)
Amenthes (250°, +5°)
Aonius Sinus (105°, —45°)
Arabia (330°, +20°)
Araxes (115°, —25°)
Arcadia (100°, +45°)
Argyre (25°, —45°)
Arnon (335°, +48°)
Aurorae S. (50°, —15°)
Ausonia (250°, —40°)
Australe M. (40°, —60°)
Baltia (50°, +60°)
Boreosyrtis (290°, +55°)
Boreum M. (90°, +50°)
Candor (75°, +3°)
Casius (260°, +40°)
Cebrenia (210°, +50°)
Cecropia (320°, +60°)
Ceraunius (95°, +20°)
Cerberus (205°, +15°)
Chalce (0°, —50°)
Chersonesus (260°, —50°)
Chronium M. (210°, —58°)
Chryse (30°, +10°)
Chrysokeras (110°, —50°)
Cimmerium M. (220°, —20°)
Claritas (110°, —35°)
Copaïs Palus (280°, +55°)
Coprates (65°, —15°)
Cyclopia (230°, —5°)
Cydonia (0°, +40°)
Deltoton S. (305°, —4°)
Deucalionis Regio (340°, —15°)
Deuteronilus (0°, +35°)
Diacria (180°, +50°)
Dioscuria (320°, +50°)
Edom (345°, 0°)
Electris (190°, —45°)
Elysium (210°, +25°)
Eridania (220°, —45°)
Erythraeum M. (40°, —25°)
Eunostos (220°, +22°)
Euphrates (335°, +20°)
Gehon (0°, +15°)
Hadriacum M. (270°, —40°)
Hellas (290°, —40°)
Hellespontica Depressio (340°, —6°)
Hellespontus (325°, —50°)
Hesperia (240°, —20°)
Hiddekel (345°, +15°)
Hyperboreus Lacus (60°, +75°)
Iapigia (295°, —20°)
Icaria (130°, —40°)
Isidis R. (275°, +20°)
Ismenius L. (330°, +40°)
Jamuna (40°, +10°)
Juventae Fons (63°, —5°)
Laestrygon (200°, 0°)
Lemuria (200°, +70°)
Libya (270°, 0°)
Lunae P. (65°, +15°)
Margaritifer S. (25°, —10°)
Memnonia (150°, —20°)
Meroe (285°, +35°)
Meridianii S. (0°, —5°)
Moab (350°, +20°)
Moeris L. (270°, +8°)
Nectar (72°, —28°)
Neith R. (270°, +35°)
Nepenthes (260°, +20°)
Nereidum Fretum (55°, —45°)
Niliacus L. (30°, +30°)
Nilokeras (55°, +30°)
Nilosyrtis (290°, +42°)
Nix Olympica (130°, +20°)
Noachis (330°, —45°)
Ogygis R. (65°, —45°)
Olympia (200°, +80°)
Ophir (65°, —10°)
Ortygia (0°, +60°)
Oxia P. (18°, +8°)
Oxus (10°, +20°)
Panchaia (200°, +60°)
Pandorae Fr. (340°, —25°)
Phaethontis (155°, —50°)
Phison (320°, +20°)
Phlegra (190°, +30°)
Phoenicis L. (110°, —12°)
Phrixi R. (70°, —40°)
Promethei S. (280°, —65°)
Propontis (185°, +45°)
Protei R. (50°, —23°)
Protonilus (315°, +42°)
Pyrrhae R. (38°, —15°)
Sabaeus S. (340°, —8°)
Scandia (150°, +60°)
Serpentis M. (320°, —30°)
Sinaï (70°, —20°)
Sirenum M. (155°, —30°)
Sithonius L. (245°, +45°)
Solis L. (90°, —28°)
Styx (200°, +30°)
Syria (100°, —20°)
Syrtis Major (290°, +10°)
Tanaïs (70°, +50°)

Tempe (70°, +40°)	Trivium Charontis (198°, +20°)
Thaumasia (85°, —35°)	Tyrrherium M. (225°, —20°)
Thoth (255°, +30°)	Uchronia (260°, +70°)
Thyle I (180°, —70°)	Umbra (290°, +50°)
Thyle II (230°, —70°)	Utopia (250°, +50°)
Thymiamata (10°, +10°)	Vulcani Pelagus (15°, —35°)
Tithonius L. (85°, —5°)	Xanthe (50°, +10°)
Tractus Albus (80°, +30°)	Yaonis R. (320°, —40°)
Trinacria (268°, —25°)	Zephyria (195°, 0°)

Обозначения: Mare (M.) — море, Lacus (L.) — озеро, Sinus (S.) — залив, Regio (R.) — область, Palus (P.) — болото, Fretum (Fr.) — пролив, Depressio (D.) — низина, Fons (F.) — источник.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ УЧРЕЖДЕНИЯ СССР

(включены также научные учреждения, имеющие отделы радиоастрономические, солнечные или иные космофизические отделы)

Название учреждения, обозначение, год основания	Почтовый адрес
1. Главная астрономическая обсерватория в Пулкове АН СССР (ГАО АН СССР или Пулковская обсерватория); 1839	г. Ленинград, М-140, Пулково
2. Николаевское отделение ГАО АН СССР; 1821	г. Николаев обл., ул. Мархлевского, 1а
3. Горная Астрономическая (солнечная) станция ГАО АН СССР; 1948	г. Кисловодск, п/я 1
4. Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР (КрАО); 1949	п/о Научный, Бахчисарайского р-на Крымской обл. УССР
5. Филиал КрАО в Симеизе; 1908	п/о Кацавели, Симеиз Крымской обл УССР
6. Институт теоретической астрономии АН СССР (ИТА); 1919	г. Ленинград В-164, Менделеевская линия, 1
7. Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР (САО); 1967	ст. Зеленчукская, Ставропольского края, ул. Бережного, д. 167
8. Астрономический совет АН СССР	г. Москва В-312, ул. Вавилова, д. 34
9. Звенигородская обсерватория АС АН СССР; 1964	п/о Новошихово, Звенигородского р-на Моск. обл.
10. Научный совет по комплексной проблеме «Радиоастрономия». АН СССР	г. Москва, К-9, пр. Маркса, д. 18
11. Комитет по метеоритам АН СССР (КМЕТ)	г. Москва, В-313, ул. М. Ульяновой, д. 3, корп. 1
12. Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН)	п/о Академгородок, Подольского р-на Моск. обл.
13. Сибирский институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (СибИЗМИР) АН СССР	г. Иркутск-3, а/я 65
13а. Саянская солнечная обсерватория; 1960	п/о Монды, Кыренского р-на

14. Уссурийская солнечная станция Дальневосточного филиала СО АН СССР	г. Уссурийск, Приморского края, п/о Горно-Таежное
15. Институт радиотехники и электроники АН СССР (ИРЭ)	г. Москва, К-9, проспект Маркса, д. 18
16. Институт космических исследований АН СССР (ИКИ)	г. Москва, В-485, Профсоюзная ул. д. 88
17. Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР (ФИАН)	г. Москва, В-312, ГСП, Ленинский просп. 53
18. Институт прикладной геофизики АН СССР	г. Москва, Главпочтамт, п/я 602
19. Отдел эволюции Земли Института физики Земли АН СССР им. О. Ю. Шмидта (ИФЗ)	г. Москва, Д-242, Б. Грузинская ул. д. 10
20. Главная астрономическая обсерватория АН УССР (ГАО АН УССР или Голосеевская обсерв.); 1944	г. Киев-127, Голосеево
21. Полтавская гравиметрическая обсерватория Института геофизики АН УССР (ПГО АН СССР); 1926	г. Полтава-3, ул. Мясоедова, д. 27/29
22. Абастуманская астрофизическая обсерватория АН Груз. ССР (ААО); 1932	Курорт Абастумани, Груз. ССР
23. Благовещенская широтная Лаборатория ГАО АН СССР; 1962	г. Благовещенск, Амурской обл. п/я 31
24. Бюраканская астрофизическая обсерватория АН Арм. ССР (БАО); 1946	п. о. Бюракан, Аштаракского р-на Арм. ССР
25. Шемахинская астрофизическая обсерватория им. Ю. Г. Мамедалиева Азерб. ССР (ШАО); 1954	п/о Шемаха, Азерб. ССР, поселок им. Ю. Г. Мамедалиева
26. Городское отделение ШАО	г. Баку-73, просп. Нариманова, д. 31, Академгородок
27. Астрофизический институт АН Каз. ССР; 1950	г. Алма-Ата-68. Каменское плато
28. Институт астрофизики АН Тадж. ССР; 1932; его Гиссарская обсерватория	г. Душанбе-42, ул. Свириденко д. 22
29. Астрономический институт им. Улугбека АН Узб. ССР; 1783	г. Ташкент, ГСП, Астрономическая ул. д. 33
30. Китабская Международная широтная станция им. Улугбека АН Узб. ССР (КШС); 1929	г. Китаб, Кашкадарьинской обл. Узб. ССР
31. Институт физики Земли и атмосферы АН Туркм. ССР	г. Ашхабад, ул. Гоголя, д. 16
31а. Обсерватория Геабюльдаг АН Туркм. ССР	п/о Фирюза, Туркм. ССР
32. Астрофизическая обсерватория им. В. Струве Института физики и астрономии (ИФА) АН Эст. ССР; 1964	Тыравере, Тартуского р-на Эст. ССР
33. Таллинское отделение ИФА АН Эст. ССР; 1961	Таллин, парк Мустамяэ в Нымме
34. Радиоастрономическая лаборатория АН Латв. ССР (РАО АН Латв. ССР) 1946	г. Рига, ГСП, ул. Тургенева, д. 19
34а. Обсерватория в Балдоне; 1967	»

35. Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга при МГУ (ГАИШ); 1830, 1954	г. Москва, В-234, Университетский просп., д. 13
36. Крымская станция ГАИШ; 1958	п/о Научный, Бахчисарайского р-на, Крымской обл. УССР
37. Высокогорная экспедиция ГАИШ; 1958	г. Алма-Ата-61, ул. Кисловодская, д. 34
38. Научно-исследовательская астрономическая обсерватория Ленинградского ун-та (АО ЛГУ); 1881	г. Ленинград, В-178, В. О., 10-я линия, д. 33
39. Южная станция АО ЛГУ	п/о Бюракан, Арм. ССР
40. Научно-исследовательский радиофизический институт Горьковского ун-та (НИРФИ)	г. Горький, ГСП-51, ул. Лядова, д. 25/14
41. Астрономическая обсерватория им. В. П. Энгельгардта Казанского ун-та (АОЭ); 1901	ст. Обсерваторная Горьковской ж. д., Зеленодольского р-на, Тат. АССР
42. Городская астрономическая обсерватория Казанского ун-та; 1833	г. Казань-8, ул. Ленина, д. 18
43. Астрономическая обсерватория Уральского ун-та (в Свердловске); 1933	г. Свердловск, К-83, просп. Ленина, д. 51
43а. Коуровская обсерватория УГУ	»
44. Астрон. обсерватория Иркутского ун-та; 1925	г. Иркутск-9, 1-я Советская ул., д. 119а
45. Астрон. обсерватория Томского ун-та; 1920	г. Томск, пр. Тимирязева, д. 5
46. Астрон. обсерватория Ростовского ун-та; 1948	г. Ростов-на-Дону-7, ул. Горького, д. 88
47. Астрон. обсерватория Киевского ун-та (КАО); 1845	г. Киев-53, Обсерваторная, д. 3
48. Астрон. обсерватория Харьковского ун-та; 1908	г. Харьков 22, Сумская ул., д. 35
49. Астрон. обсерватория Львовского ун-та	г. Львов 5, ул. Ломоносова, д. 8
50. Астрономическая станция Львовского ун-та	г. Львов, Брюховичи, ул. Ликарская, д. 29
51. Астрон. обсерватория Одесского ун-та (ОАО)	г. Одесса, ГСП-714, ЦПК и О им. Шевченко
52. Станция ОАО в Маяках	»
53. Астрон. обсерватория Латвийского ун-та	г. Рига, центр, п/я 129
54. Астрон. обсерватория Вильнюсского ун-та	г. Вильнюс-31, ул. Чюрлионио, д. 29
55. Астрон. обсерватория при Кабардино-Балкарском ун-те	г. Нальчик, ул. Чернышевского, д. 173
56. Астрон. обсерватория при Моск. педагогич. ин-те им. В. И. Ленина	г. Москва, К-45, ул. Дзержинского, д. 13

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

ОТДЕЛЕНИЯ ВСЕСОЮЗНОГО АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА (ВАГО)

1. Азербайджанское	Баку, центральн. почтамт, п/я 77
2. Алма-Атинское	Алма-Ата, 68, Каменское плато. Астрофиз. ин-т АН Каз. ССР
3. Армянское	Ереван, просп. Ленина, 12. Планетарий

4. Ашхабадское	Ашхабад, просп. Свободы, 78, Дворец пионеров
5. Башкирское	Уфа, ул. Р. Зорге, 7, Зап. Уральский ТИСИЗ
6. Березниковское	Березники, Пермской обл., Титано-магниевый комбинат, группа генплана
7. Волгоградское	Волгоград, просп. Ленина, 27, Пединститут
8. Воронежское	Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, Инж.-строит. ин-т, кафедра геодезии
9. Горьковское	Горький, 7, Абонем. ящик 24
10. Днепропетровское	Днепропетровск, 30, ул. Шевченковская, 59, кв. 74
11. Душанбинское	Душанбе, 25, ул. Свириденко, 4, Астрон. обсерватория
12. Запорожское	Запорожье, центр. пр. Ленина, 182, Ин-т титана
13. Ивановское	Иваново, 25, ул. Ермака, 37, Пединститут, кафедра теор. физики
14. Иркутское	Иркутск, ул. Ленина, 3, Университет, кафедра геодезии
15. Казанское	Казань, ул. Ленина, 18, Астрон. обсерватория
16. Калининское	Калинин, 2-й Гаражный проезд, 22а, кв. 13
17. Киевское	Киев, 53, Обсерваторная ул., 3, Астрон. обсерватория
18. Киргизское	Фрунзе, ул. XX партсъезда, 265а, Ин-т физики и математики АН Кирг. ССР
19. Кишиневское	Кишинев, ул. Щусева, 90, кв. 4
20. Краснодарское	Краснодар, ул. Красная, 52, Ин-т «Краснодарнефтепроект»
21. Крымское	Симферополь, 7, ул. Беспалова, 39, кв. 16
22. Куйбышевское	Куйбышев. обл., 43, ул. Куйбышева 42, инспекция Госгеонадзора
23. Курское	Курск, ул. Радищева, 33, Пединститут, каф. теор. физики
24. Латвийское	Рига, гл. почтамт, п/я 202
25. Ленинградское	Ленинград, В-164, п/я 416
26. Львовское	Львов, ГСП-5, ул. Мира, 12, Политехн. ин-т, каф. космич. геодезии
27. Магаданское	Пос. Ларюковая, Магаданск. обл.
28. Минское	Минск, 27, Ленинский просп., 65, Политехн. ин-т, каф. инж. геодезии
29. Московское	Москва, В-313, абонементный ящик 740
30. Новосибирское	Новосибирск, 100, ул. Плахотного, 10, НИИГАиК
31. Одесское	Одесса, парк Шевченко, 10, Астрон. обсерватория ун-та
32. Омское	Омск, 8, С.-х. ин-т, каф. высшей геодезии
33. Пермское	Пермь, 5, ул. Букарева, 15, ун-т, каф. общ. физики
34. Полтавское	Полтава, ул. Мясоедова, 27/29 Гравиметр. обсерв. АН УССР
35. Пятигорское	Пятигорск, Московская ул., 14, Госгеонадзор
36. Ростовское	Ростов-на-Дону, 22, Социалистическая, 162, РИСИ, каф. геодезии
37. Рязанское	Рязань, 23, ул. Циолковского, 1, кв. 68
38. Саратовское	Саратов, Волжская, 36. Планетарий
39. Свердловское	Свердловск, Л-38, просп. Ленина, 24а, Геосектор отдела по делам строительства и архитектуры
40. Севастопольское	Севастополь, ул. Толстого, 17, кв. 22
41. Смоленское	Смоленск, ул. Пржевальского, 4, Пединститут
42. Ташкентское	Ташкент, 25, Астрономическая ул., 38, Астрон. ин-т АН Узб. ССР
43. Томское	Томск, 41, Дзержинская ул., 49а, кв. 1

44. Тульское	Тула, просп. Ленина, 92, Политехн. ин-т, каф. геодезии
45. Тбилисское	Тбилиси, 60, ул. Павлова, 2а, Городская лаборатория Абастуманской астрофиз. обсерв. АН Груз. ССР
46. Ульяновское	Ульяновск, 19, ул. Б. Хмельницкого, 8, кв. 1
47. Уссурийское	Уссурийск, Приморского края, п/о Горнотаежное, ДВ Астрон. станция
48. Хабаровское	Хабаровск, центр, ул. Тургенева, 74, Госгеонадзор
49. Харьковское	Харьков, пер. Кравцова, 15, Планетарий
50. Челябинское	Челябинск, 7, ул. Грибоедова, 57, кв. 33
51. Черновицкое	Черновцы, обл., УССР, ул. Федьковича, 16, Техникум
52. Шадринское	Шадринск, Курганской обл., ул. К. Либкнехта, 4, Пединститут, каф. физики
53. Эстонское	Таллин-16, Тяхеторни 2
54. Якутское	Якутск, абонементный ящик 52
55. Ярославское	Ярославль, ул. Трефолева, 20
56. Ялтинское	Ялта, Партизанский пр., 3, редакция «Курортной газеты»

ПРИЛОЖЕНИЕ V

СТЕРЕОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТКА Г. В. ВУЛЬФА

(см. вкладку в конце книги)

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

ОРТОГРАФИЧЕСКИЕ СЕТКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА

(см. вкладку в конце книги)

ПРИЛОЖЕНИЕ VII

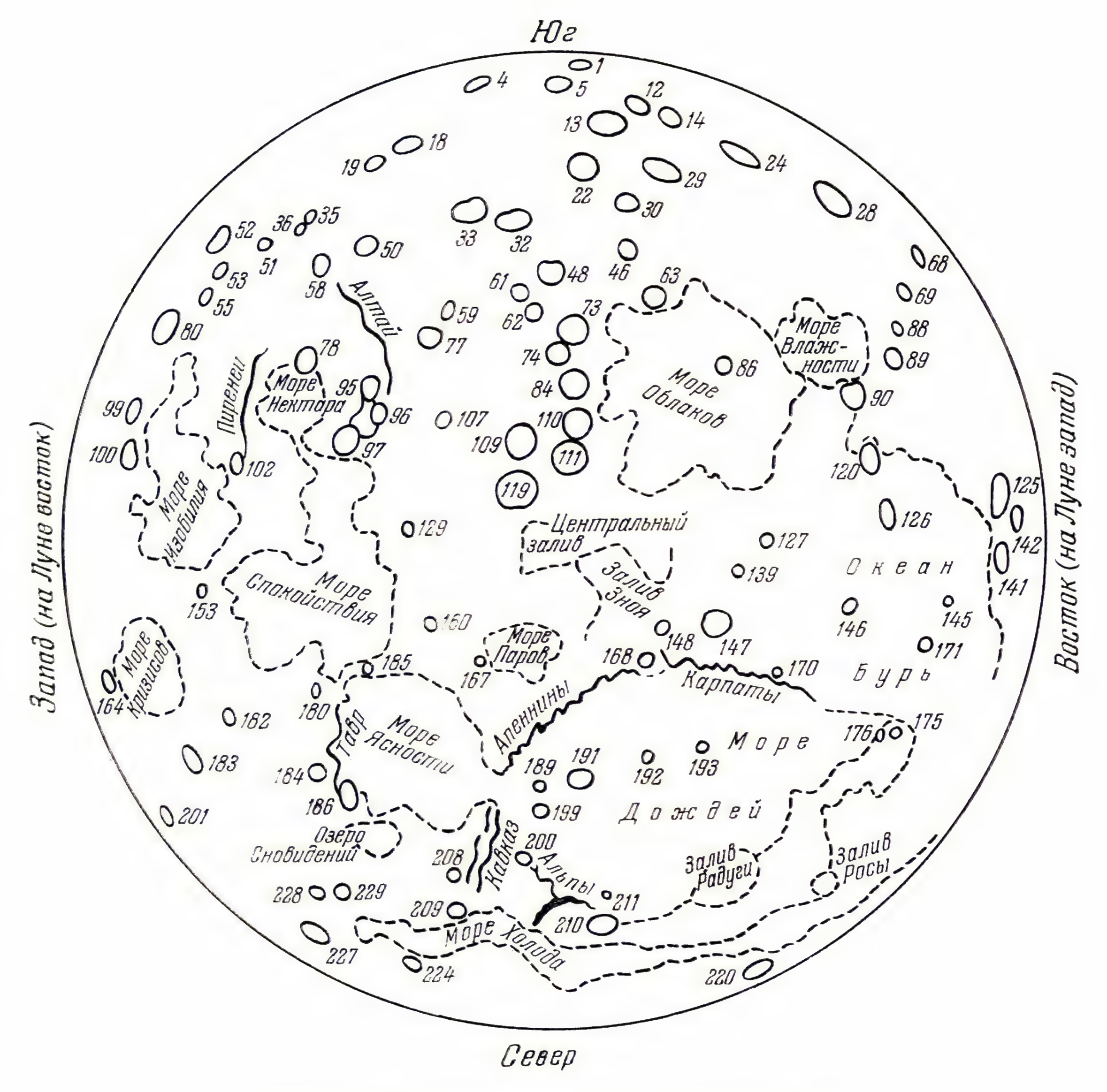
КООРДИНАТНЫЕ СЕТКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ ПЛАНЕТ

(см. вкладку в конце книги)

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ



Вкладка 3. Фотографическая карта
видимого полушария Луны.



Вкладка 4. Крупные детали видимого полушария Луны (эту вкладку рекомендуется скопировать на кальку).

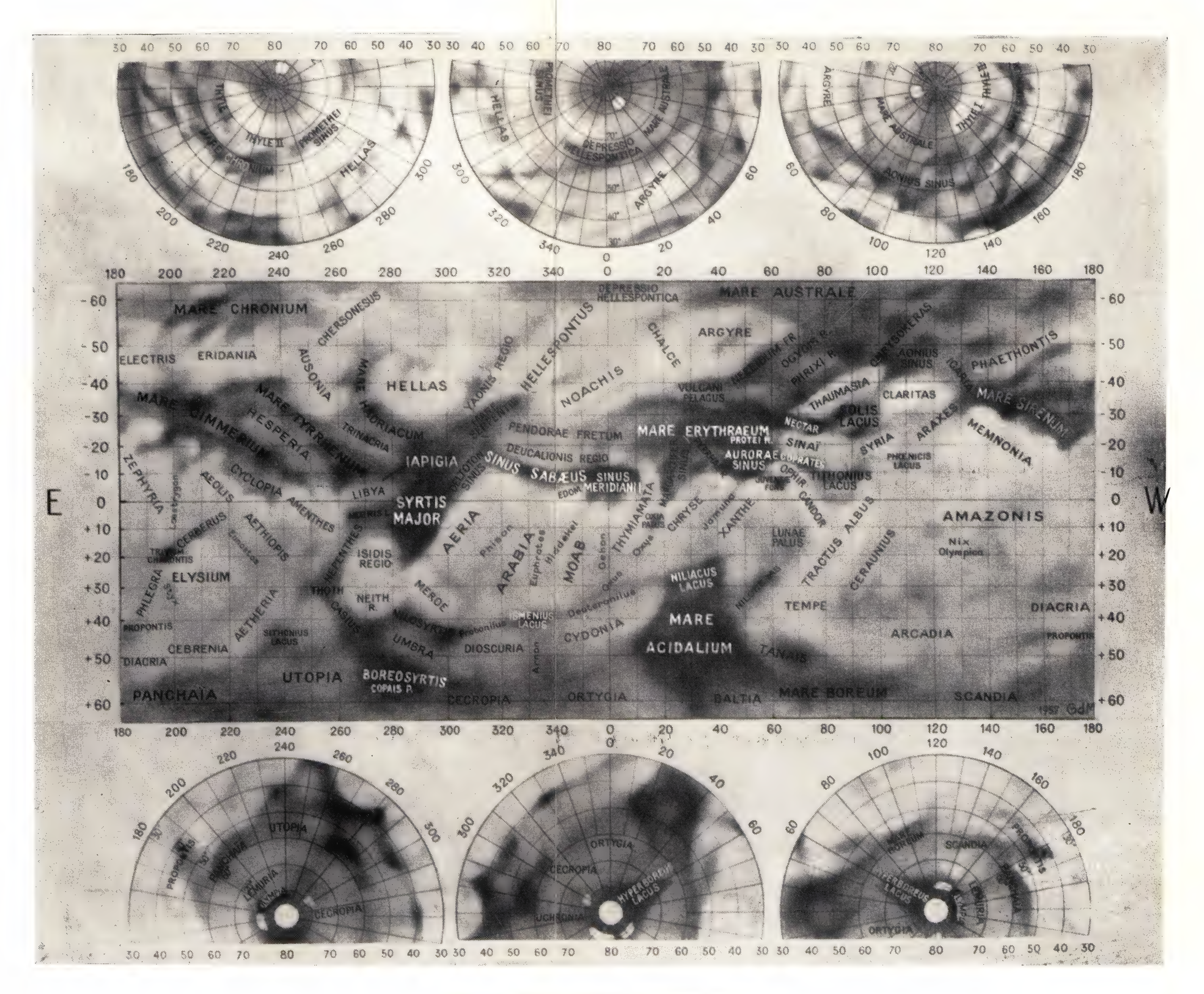
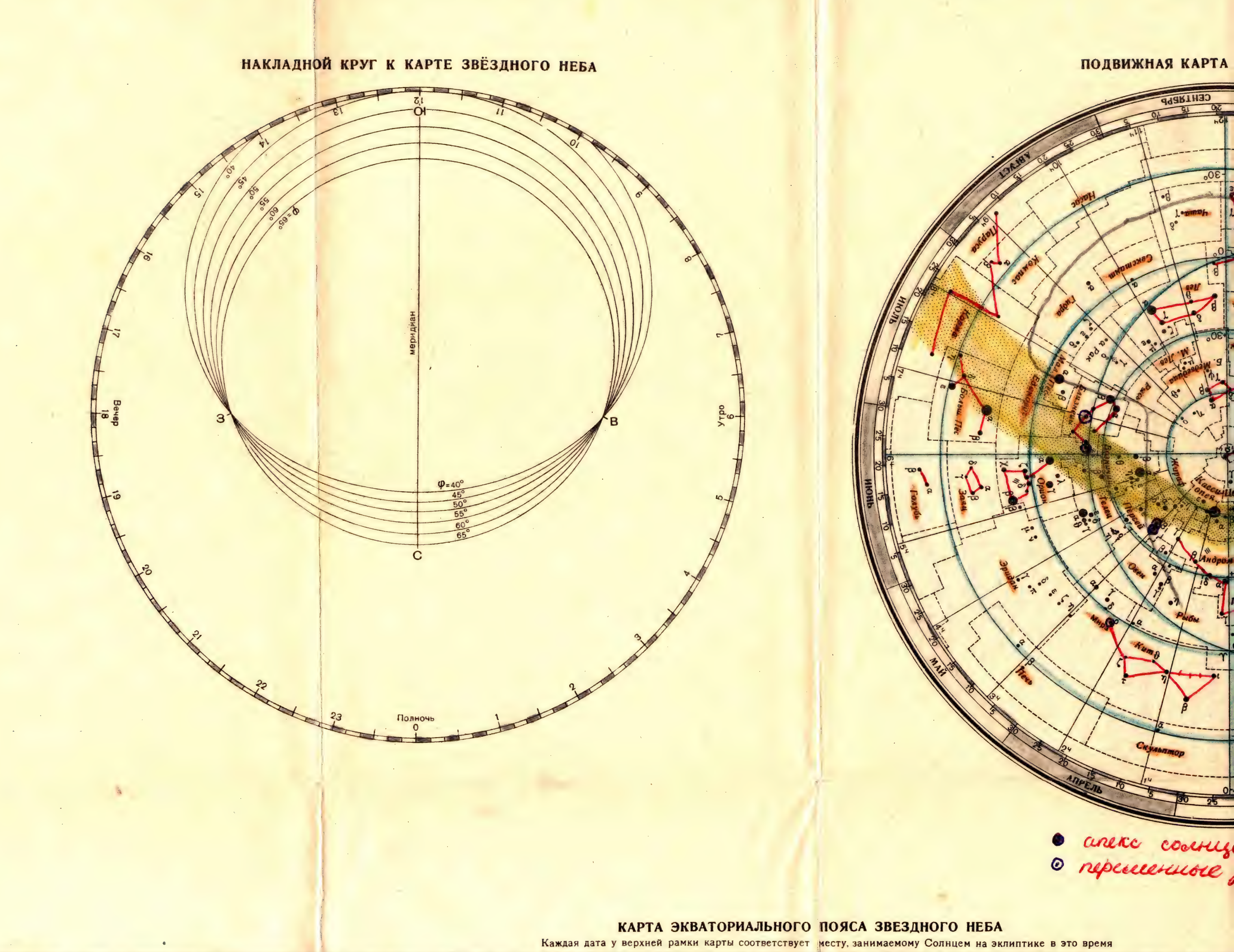
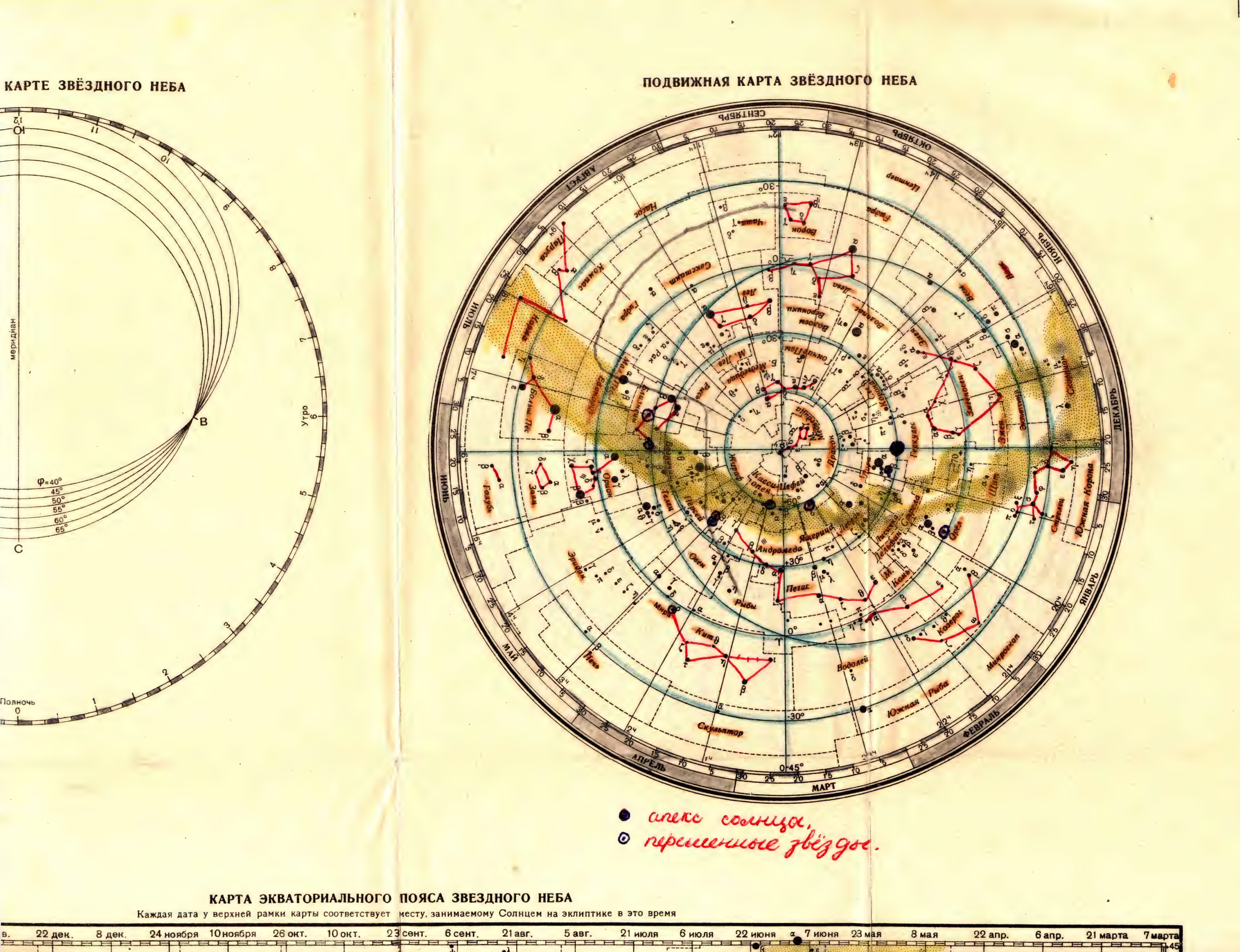


Рис. 194. Карта деталей поверхности Марса.


НАКЛАДНОЙ КРУГ К КАРТЕ ЗВЁЗДНОГО НЕБА
Ю
С
З
В
меридиан
Вечер
Утро
Полночь
φ=40°
45°
50°
55°
60°
65°
ПОДВИЖНАЯ КАРТА
СЕНТЯБРЬ
АВГУСТ
ИЮЛЬ
ИЮНЬ
МАЙ
АПРЕЛЬ
Насос
Парусa
Компас
Секстант
Гидра
Рак
Лев
М. Лев
Б. Медведица
Рысь
Близнецы
Больш. Пес
Орион
Заяц
Голубь
Возничий
Телец
Персей
Кассиопея
Андромеда
Овен
Рыбы
Кит
Эридан
Печь
Скульптор
КАРТА ЭКВАТОРИАЛЬНОГО ПОЯСА ЗВЕЗДНОГО НЕБА
Каждая дата у верхней рамки карты соответствует месту, занимаемому Солнцем на эклиптике в это время
6 апр.
21 марта
7 марта
18 февр.
3 февр.
19 янв.
5 янв.
22 дек.
8 дек.
24 ноября
10 ноября
26 окт.
10 окт.
23 сент.
6 сент.
21 авг.
5 авг.
21 июля
6 июля
22 июня



КАРТЕ ЗВЁЗДНОГО НЕБА
меридиан
Утро
Полночь
φ=40°
45°
50°
55°
60°
65°
ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЁЗДНОГО НЕБА
СЕНТЯБРЬ
ОКТЯБРЬ
НОЯБРЬ
ДЕКАБРЬ
ЯНВАРЬ
ФЕВРАЛЬ
МАРТ
АПРЕЛЬ
МАЙ
ИЮНЬ
ИЮЛЬ
АВГУСТ
апекс солнца,
переменные звёзды.
КАРТА ЭКВАТОРИАЛЬНОГО ПОЯСА ЗВЕЗДНОГО НЕБА
Каждая дата у верхней рамки карты соответствует месту, занимаемому Солнцем на эклиптике в это время
22 дек.
8 дек.
24 ноября
10 ноября
26 окт.
10 окт.
23 сент.
6 сент.
21 авг.
5 авг.
21 июля
6 июля
22 июня
7 июня
23 мая
8 мая
22 апр.
6 апр.
21 марта
7 марта

Полночь

Рыбы
Мира
Кит
Печь
Скульптор
МАЙ
АПРЕЛЬ

● апекс солнц...
⊙ переменные з...

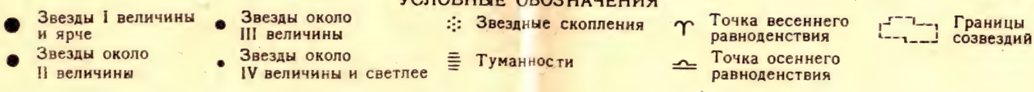
КАРТА ЭКВАТОРИАЛЬНОГО ПОЯСА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

Каждая дата у верхней рамки карты соответствует месту, занимаемому Солнцем на эклиптике в это время

6 апр. | 21 марта | 7 марта | 18 февр. | 3 февр. | 19 янв. | 5 янв. | 22 дек. | 8 дек. | 24 ноября | 10 ноября | 26 окт. | 10 окт. | 23 сент. | 6 сент. | 21 авг. | 5 авг. | 21 июля | 6 июля | 22 июня

АНДРОМЕДА
ЯЩЕРИЦА
ЛЕБЕДЬ
ЛИРА
СЕВЕРНАЯ КОРОНА
ГОНЧИЕ ПСЫ
БОЛЬШАЯ МЕДВЕДИЦА
МАЛЫЙ ЛЕВ
РЫСЬ
ВОЗНИЧИЙ
ПЕГАС
ЛИСИЧКА
ГЕРКУЛЕС
ВОЛОПАС
ВОЛОСЫ ВЕРОНИКИ
РАК
БЛИЗНЕЦЫ
СТРЕЛА
ДЕЛЬФИН
ЛЕВ
ЗМЕЯ
МАЛ. КОНЬ
ОРЁЛ
МАЛЫЙ ПЁС
ОРИОН
Эклиптика
РЫБЫ
ЗМЕЯ
ЗМЕЕНОСЕЦ
ДЕВА
СЕКСТАНТ
ЕДИНОРОГ
ГИДРА
ЩИТ
КИТ
ВОДОЛЕЙ
ВЕСЫ
ЧАША
ВОРОН
ЗАЯЦ
КОЗЕРОГ
БОЛЬШОЙ ПЕС
СТРЕЛЕЦ
ГИДРА
КОМПАС
КОРМА
СКУЛЬПТОР
ЮЖНАЯ РЫБА
МИКРОСКОП
СКОРПИОН
ВОЛК
ЦЕНТАВР
НАСОС
ГОЛУБЬ
ЖУРАВЛЬ
ЮЖНАЯ КОРОНА
НАУГОЛЬНИК
ПАРУСА
ФЕНИКС
ЖИВОПИСЕ...

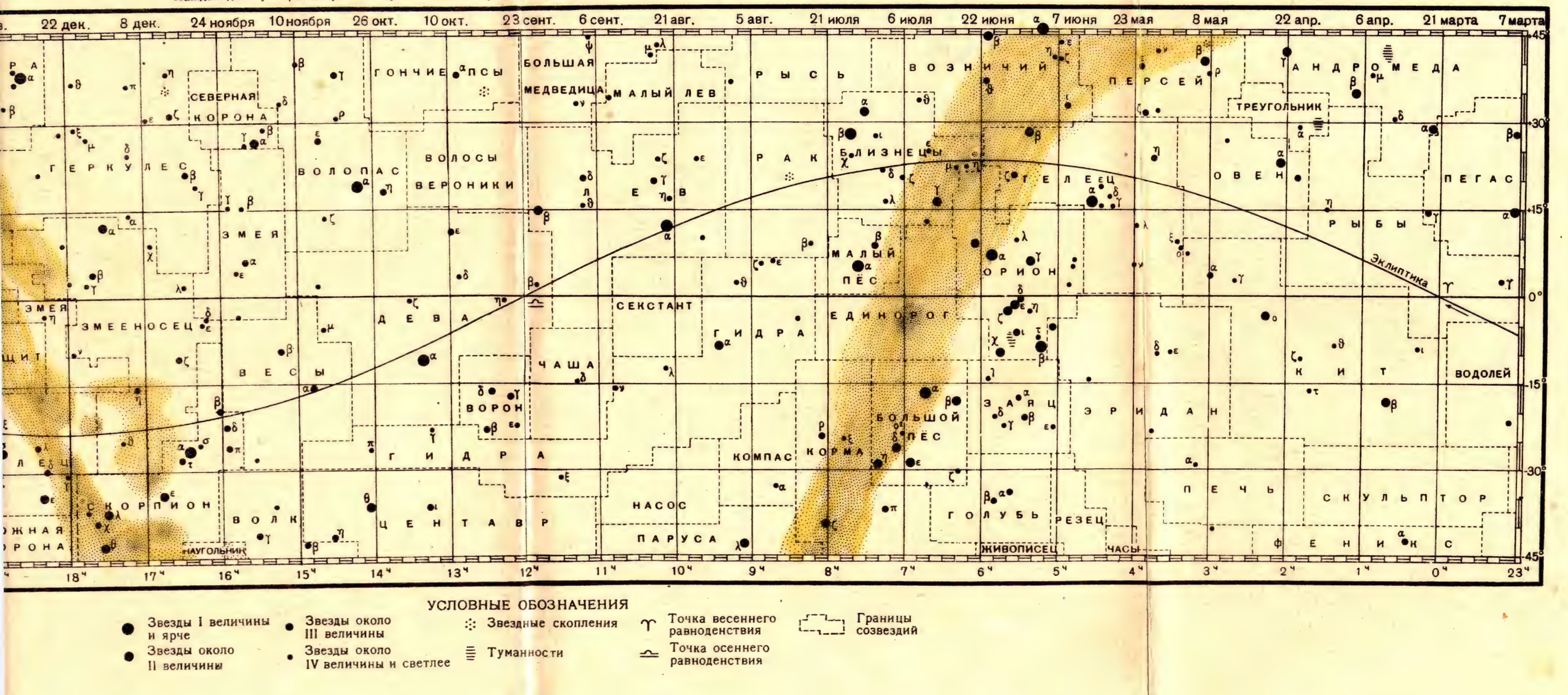
1ч | 0ч | 23ч | 22ч | 21ч | 20ч | 19ч | 18ч | 17ч | 16ч | 15ч | 14ч | 13ч | 12ч | 11ч | 10ч | 9ч | 8ч | 7ч | 6ч



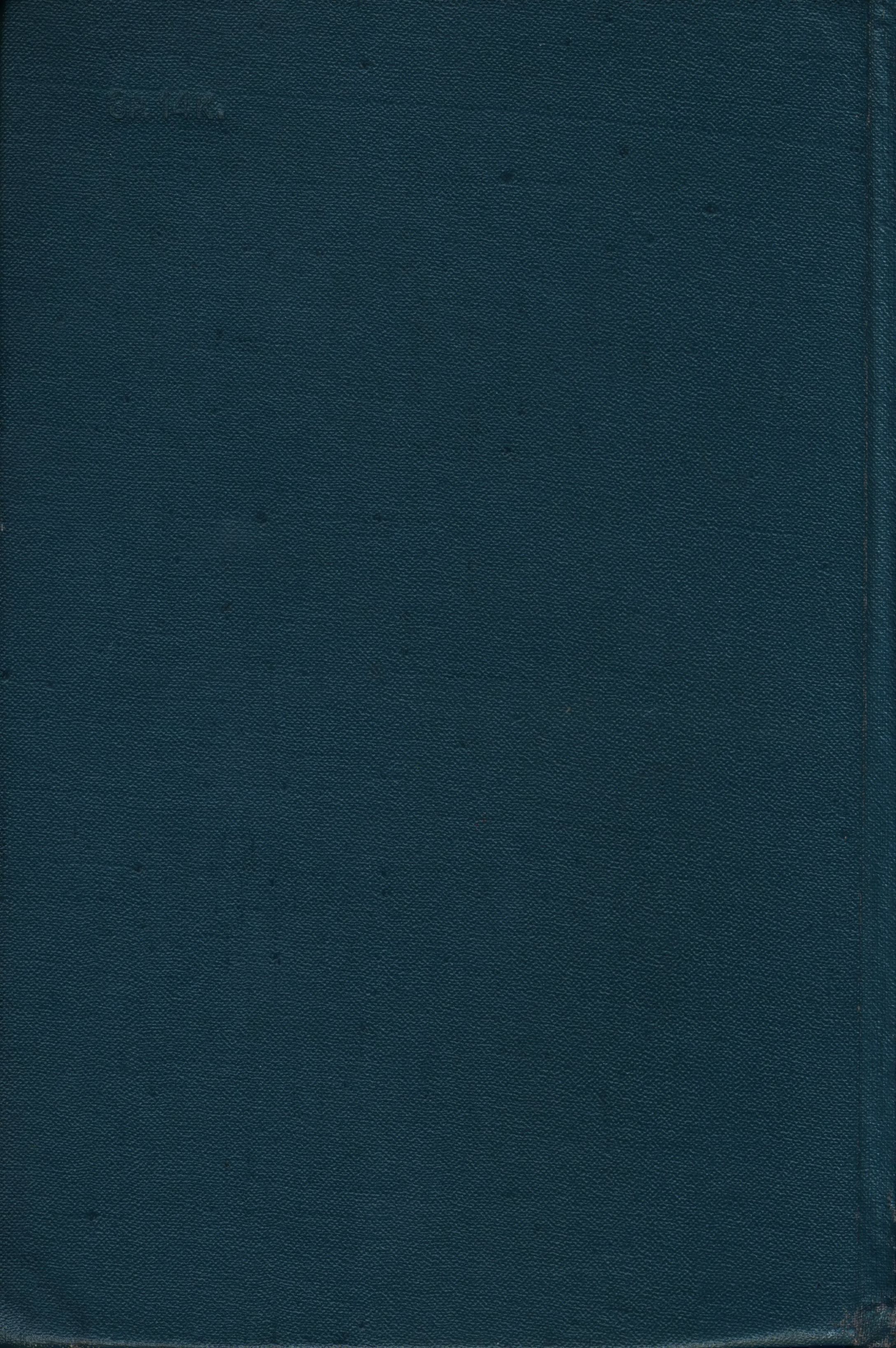
● апекс солнца,
⊙ переменные звёзды.

КАРТА ЭКВАТОРИАЛЬНОГО ПОЯСА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

Каждая дата у верхней рамки карты соответствует месту, занимаемому Солнцем на эклиптике в это время








АСТРОНОМИ-
ЧЕСКИЙ
КАЛЕНДАРЬ
ПОСТОЯННАЯ
ЧАСТЬ